

César Miguel Baltazar Coelho da Silva Santos

Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial



Desenvolvimento de um processo de desmembramento e separação de cápsulas de café

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Virgílio António Cruz Machado, Professor Associado com
Agregação da Faculdade de Ciências Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Co-Orientador: Jorge Joaquim Pamies Teixeira, Professor Catedrático da
Faculdade de Ciências Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa

Jurí:

Presidente: Doutor Rogério Salema de Araújo Puga Leal

Vogais: Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas

Eng. Marco Túlio de Moraes Garcia Miranda

Doutor Jorge Joaquim Pamies Teixeira

Doutor Virgílio António Cruz Machado



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Setembro de 2011

Desenvolvimento de um processo de desmembramento e separação de cápsulas de café

© César Miguel Baltazar Coelho da Silva Santos

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou com várias pessoas e entidades, às quais não posso deixar de agradecer toda a força, empenho e ensinamentos que me foram oferecidos sem nada em troca.

Agradeço ao Professor Virgílio Cruz Machado, pela orientação, compreensão e suporte que disponibilizou durante a realização deste trabalho.

Um especial agradecimento ao Professor Jorge Pamies Teixeira, por todo o tempo despendido, orientação e dedicação.

À Delta Cafés, em especial ao Eng.º Marco Miranda pela possibilidade de realizar este trabalho.

A toda a equipa envolvida no projeto Delta ReThink, pois este projeto não começa nem acaba nesta dissertação, sendo este apenas um pequeno contributo para tão vasto e interessante trabalho.

Ao António Campos e Paulo Magalhães, pela disponibilidade e prontidão na ajuda da montagem dos protótipos criados.

A todos aqueles que directamente ou indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha família, em especial à minha namorada pelo apoio durante todo este percurso.

SUMÁRIO

A indústria das cápsulas de café, tem conhecido um crescimento exponencial de vendas. Este crescimento traduz-se, naturalmente, num aumento de resíduos que, atualmente, são encaminhados para aterro sanitário, não sendo estes passíveis de qualquer tipo de valorização.

A valorização inclui quaisquer operações que permitam o reaproveitamento dos resíduos e que se englobem em duas categorias: reciclagem (material ou orgânica) e valorização energética.

A presente dissertação, tem como principal objetivo explorar uma metodologia de desenvolvimento de produtos e processos para criar um novo processo de desmembramento e separação dos constituintes das cápsulas de café, por forma a possibilitar a posterior valorização dos elementos constituintes das cápsulas.

O presente trabalho encontra-se integrado no projeto Delta Rethink, cujo objetivo é encontrar formas de valorizar os constituintes das cápsulas de café - plástico e borra de café.

Este projeto nasce da consciencialização da Delta Cafés de que a responsabilidade de um produtor não pode terminar na venda do produto em si, mas que esta deverá estar presente em todo o ciclo de vida do produto, ou seja, desde a sua produção, passando pela sua distribuição e venda até à recolha do produto consumido e posterior preparação para valorização.

Os testes realizados, para inferir qual o processo de desmembramento e separação dos constituintes das cápsulas que mais se adequa ao objetivo a concretizar, apresentados no decorrer do trabalho, permitem concluir que a solução mais adequada consiste numa linha de produção constituída por um moinho para destroçamento das cápsulas, seguido de peneiração em peneira vibratória inclinada, com dois estágios distintos e finalmente, uma etapa de lavagem com água a alta pressão.

Este processo permite uma recuperação dos resíduos de plástico e de borra de café, sendo que a borra de café obtida apresenta um grau de contaminação de plástico abaixo dos 0,2%, valor que segundo o Instituto de Biologia Experimental e Tecnológica se ajusta às potenciais utilizações subseqüentes da borra de café.

PALAVRAS CHAVE: café, cápsulas, desenvolvimento de processos, peneiração, resíduos, valorização.

ABSTRACT

The coffee capsules industry capsules has seen an exponential growth in sales. This growth reflects a waste increase that currently is sent to landfill, which are not capable of any kind of recovery.

The waste recovery includes all operations that allow the reuse of waste and covering it in two categories: recycling (material or organic) and energy recovery.

This dissertation has the main objective to explore a methodology for developing products and processes to create a new dismemberment and separation process of the coffee capsules in order to enable further recovery of the capsules constituents.

This work is integrated into the project Delta Rethink, whose goal is to find ways to value the coffee capsules constituents - plastic and coffee grounds.

The project is the Delta Cafés awareness that the responsibility of a producer can not end on the product sale, but that this should be present all over the product lifecycle from production, through distribution and sale, to the collection of the product consumed and preparation for later recovery.

Tests conducted to infer what the dismemberment and separation process of coffee capsules that are best suited to achieve the goal presented in this work, showed that the most suitable solution is a production line consisting of a mill to crush the capsules, followed by sifting in inclined vibrating screen with two distinct stages and finally, a wash step with water at high pressure.

This process allows a plastic and coffee grounds recovery, and coffee grounds has achieved a level of plastic contamination below 0.2%, which according to the Institute of Experimental Biology and Technology adjusts to potential subsequent uses of coffee grounds.

KEY WORDS: coffee, capsules, process development, sifting, waste recovery.

SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

IBET – Instituto de Biologia Experimental e Tecnológica

APQC – American Productivity and Quality Center

SPV – Sociedade Ponto Verde

SMART – Acrónimo utilizado na definição de objetivos de projetos (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time Bounded)

QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional

m_i – Massa inicial da mistura a separar

t_c – Tempo de crivagem ou de peneira (testes do tipo i)

t_{1c} – Tempo de 1ª crivagem ou peneira (testes do tipo ii)

t_{2c} – Tempo de 2ª crivagem ou peneira (testes do tipo ii)

m_{ac} – Massa após crivagem ou peneira

$m_{p\%}$ - % de contaminação em plástico da borra crivada

$m_{1p\%}$ - % de contaminação em plástico após 1ª crivagem

$m_{2p\%}$ - % de contaminação em plástico após 2ª crivagem

BC – Borra crivada

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. METODOLOGIA.....	2
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2. DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS.....	5
2.1. ESTÁGIOS DO DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS	5
2.1.1. <i>Fase 0 – Planeamento</i>	6
2.1.2. <i>Fase 1 – Desenvolvimento de conceito</i>	6
2.1.3. <i>Fase 2 – Desenho dos sistemas</i>	6
2.1.4. <i>Fase 3 – Desenho detalhado</i>	7
2.1.5. <i>Fase 4 – Teste e refinamento</i>	7
2.1.6. <i>Fase 5 – Início de produção</i>	7
3. SEPARAÇÃO MECÂNICA DE ELEMENTOS	9
3.1. MÉTODOS MECÂNICOS DE SEPARAÇÃO DE ELEMENTOS SÓLIDOS	9
3.1.1. <i>Catação</i>	9
3.1.2. <i>Peneiração</i>	10
3.1.3. <i>Levigação</i>	11
3.1.4. <i>Ventilação</i>	12
3.1.5. <i>Separação Magnética</i>	13
3.1.6. <i>Sublimação</i>	13
3.2. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE SEPARAÇÃO.....	14
3.3. PENEIRAS	16
3.3.1. <i>Peneiras vibratórias</i>	16
3.3.2. <i>Peneiras rotativas</i>	21
4. CASO DE ESTUDO – DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL DE DESMEMBRAMENTO E SEPARAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS CÁPSULAS DE CAFÉ	
23	
4.1. A INDÚSTRIA DAS CÁPSULAS DE CAFÉ	23
4.2. DELTA CAFÉS.....	25
4.2.1. <i>Delta ReThink</i>	26
4.3. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	27
4.3.1. <i>Desmembramento da cápsula</i>	28

4.3.2.	<i>Separação dos elementos</i>	28
4.3.3.	<i>Lavagem</i>	28
4.4.	FASE 0 - PLANEAMENTO.....	29
4.4.1.	<i>Desmembramento da cápsula</i>	29
4.4.2.	<i>Separação dos elementos</i>	33
4.4.3.	<i>Lavagem</i>	39
4.5.	FASE 1 – DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO	42
4.5.1.	<i>Desmembramento da cápsula</i>	42
4.5.1.1.	Moinho triturador.....	42
4.5.1.2.	Abertura por esmagamento	43
4.5.1.3.	Seleção do método para desmembramento	47
4.5.2.	<i>Separação dos componentes da cápsula</i>	49
4.5.3.	<i>Lavagem</i>	61
4.6.	FASE 2 – DESENHO DE SISTEMAS	66
4.6.1.	<i>Desmembramento das cápsulas</i>	66
4.6.2.	<i>Separação dos elementos</i>	68
4.6.3.	<i>Lavagem</i>	71
5.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS	73
5.1.	TRABALHO FUTURO	74
6.	REFERÊNCIAS	77
7.	ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Processo genérico de desenvolvimento de processos – adaptado de (Ulrich & Eppinger, 2008)	6
Figura 3.1 – Catação numa estação de triagem de resíduos (Fonte: Jornal das Caldas, Setembro 2010)	10
Figura 3.2 – Peneiração (Fonte: Portal das Escolas, Dezembro 2010)	11
Figura 3.3 – utilização de levigação na prospecção de ouro (Fonte: http://goldprice.org)	12
Figura 3.4 – Ventilação	12
Figura 3.5 – Separação magnética (Fonte: Portal das Escolas, Outubro de 2010)	13
Figura 3.6 – Sublimação o iodo (Fonte: http://revistaescola.abril.com.br)	14
Figura 3.7 – Peneira vibratória circular (Manfredini & Schianchi)	17
Figura 3.8 – Peneira vibratória com 3 níveis (MultiVibro)	17
Figura 3.9 – Movimento espiralar numa peneira vibratória circular (Rotopen).....	18
Figura 3.10 – Peneira vibratória horizontal (MultiVibro).....	19
Figura 3.11 – Peneira vibratória horizontal com dupla plataforma de peneiração (MultiVibro)	20
Figura 3.12 – Peneira vibratória inclinada (MultiVibro)	21
Figura 3.13 – Peneira rotativa	22
Figura 4.1 - A delta cafés em Portugal e Espanha (Delta Cafés)	26
Figura 4.2 - A delta cafés no mundo (Delta Cafés)	26
Figura 4.4 - Moinho triturador de cápsulas.....	31
Figura 4.6 – Interface do sensor de força.....	32
Figura 4.7 - Esmagamento na ligação entre a base e a tampa da cápsula	32
Figura 4.8 - Esmagamento na base da cápsula	33
Figura 4.9 - Rede com malha de 3 mm (malha pequena)	34
Figura 4.10 - Rede com malha de 4 mm (malha grande)	35
Figura 4.11 - Molas utilizadas na montagem experimental	35
Figura 4.12 - Vibrador Eletrodinâmico, modelo V406 M4	36
Figura 4.13 - Tabuleiro de peneira	37

Figura 4.14 - Montagem completa da peneira.....	37
Figura 4.15 - Pormenor da montagem (visualização do ponto de excitação)	38
Figura 4.16 - Malha de calibre 4 mm.....	40
Figura 4.17 - Máquina de lavar convencional adaptada para a lavagem das cápsulas	40
Figura 4.18 - Rede fechada para lavagem com alta pressão	41
Figura 4.19 - Máquina de alta pressão.....	41
Figura 4.20 – Cápsulas desmembradas por esmagamento	47
Figura 4.21 – Cápsulas desmembradas através do moinho triturador.....	48
Figura 4.22 – Aspeto geral do plástico resultante da lavagem convencional.....	62
Figura 4.23 – Pormenor da tampa de uma cápsulas.....	62
Figura 4.24 – Borra seca colada ao plástico	63
Figura 4.25 – Aspeto geral das cápsulas resultantes da lavagem com alta pressão	63
Figura 4.26 – Vista ampliada de uma cápsula sujeita a lavagem de alta pressão	64
Figura 4.27 – Pormenor de uma tampa lavada com alta pressão	64
Figura 4.28 – Cápsulas deficientemente abertas pelo moinho	65
Figura 4.29 – Pormenor da soldadura do filtro após a lavagem	66
Figura 4.30 – Desenhos técnicos do moinho triturador de cápsulas	67
Figura 4.31 – Rede com malha de 4 mm (malha grande)	69
Figura 4.32 – Rede com malha de 3 mm (malha pequena).....	69
Figura 4.33 – Desenho esquemático da peneira.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Métodos de separação de sólidos.....	15
Tabela 4.1 - Força máxima exercida em cada "teste ligação"	44
Tabela 4.2 - Força máxima exercida em cada "teste base".....	45
Tabela 4.3 – Resultados experimentais dos testes de separação.....	49
Tabela 4.4 – Percentagem de borra obtida da amostra em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo i	51
Tabela 4.5 – Grau de contaminação da borra por plástico em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo i.....	52
Tabela 4.6 - Percentagem de borra obtida da amostra em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo ii	54
Tabela 4.7 - Grau de contaminação da borra por plástico em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo ii com apenas um estágio em MG	55
Tabela 4.8 – Grau de contaminação da borra por plástico em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo ii com 2 estágios (MG+MP)	57
Tabela 4.9 - % de Borra obtida para diferentes intervalos de tempo de permanência na peneira	59
Tabela 4.10 - % de contaminação na borra obtida para diferentes intervalos de tempo de permanência na peneira	60
Tabela 4.11 - Características para a peneira experimental	68
Tabela 4.12 - Especificações para a peneira à escala industrial	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Vendas de café em quantidade no 1º semestre de 2010.....	23
Gráfico 4.2 - Vendas de café em valor no 1º semestre de 2010.....	24
Gráfico 4.3 - Crescimento homólogo dos vários formatos de venda de café (1ºSemestre 2010)	25
Gráfico 4.4 - Exemplo de output do software	44
Gráfico 4.5 - Força em N para o rebentamento pela base	46
Gráfico 4.6 - Força em N para o rebentamento pela ligação	46
Gráfico 4.7 - Percentagem de borra obtida nos testes de tipo i.....	51
Gráfico 4.8 - Contaminação da borra obtida nos testes de tipo i	53
Gráfico 4.9 - Percentagem de borra obtida nos testes de tipo ii.....	54
Gráfico 4.10 - Grau de contaminação da borra por plástico em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo ii com um estágio em malha grande.....	56
Gráfico 4.11 - % de borra obtida Vs Tempo de permanência na peneira	59
Gráfico 4.12 - Contaminação da borra obtida Vs Tempo de permanência na peneira.....	61

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A indústria das cápsulas de café tem, atualmente, um crescimento em vendas anual de cerca de 100%, duplicando por ano a quantidade de resíduos de cápsulas depositados em aterro sanitário, sem qualquer possibilidade de valorização.

A valorização inclui qualquer das operações que permitam o reaproveitamento dos resíduos e que se englobem em duas categorias: reciclagem (material ou orgânica) e valorização energética (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1993).

Entende-se por reciclagem o reprocessamento dos resíduos num processo de produção, para o fim original ou para outros fins, considerando-se incluídos neste tipo de operação, nomeadamente, a reciclagem material, a compostagem e a regeneração. Envolve, portanto, um ciclo que começa e finaliza no agente “consumidor”, através da transformação de um material usado num outro pronto a ser usado (Martinho & Gonçalves, 2000).

A criação de sistemas que possibilitem a valorização dos resíduos gerados pela crescente utilização de café em cápsulas, é um tema bastante atual e de suma importância.

Um estudo realizado entre 2004 e 2009 pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, 2010), indica que a quantidade de resíduos recolhidos de forma selectiva duplicou, acrescentando ainda que cada português em média envia para a reciclagem 13% dos resíduos gerados. A consciência ambiental da população tem vindo aumentar ao longo dos anos, tendo por base a política dos 4R's (redução, reutilização, recuperação e reciclagem), resultando em benefícios económicos e sociais significativos, nomeadamente, poupanças a nível de consumo de recursos ou de espaço em aterro, redução da poluição, aumento da eficiência de outros processos como a compostagem ou a incineração e a possibilidade de permitir aos cidadãos uma participação ativa na melhoria da qualidade do ambiente (Martinho & Gonçalves, 2000).

Existe, portanto, hoje em Portugal, uma grande sensibilidade para a questão da separação e valorização dos resíduos, sendo obrigação das empresas produtoras, criarem soluções de valorização que deem resposta a esta necessidade.

Neste contexto, estudos realizados pelo IBET (Instituto de Biologia Experimental e Tecnológica, 2010), indicam apontam para um potencial de valorização de cápsulas

plásticas de café, quer para a componente de plástico da cápsula, quer para a borra de café nela contida.

Face ao acima exposto e à premente necessidade de introduzir “soluções verdes” nas empresas, por forma a tornarem-se cada vez mais competitivas no mercado, nacional e internacional, torna-se essencial e urgente, o desenvolvimento de um processo que responda às necessidades de separação dos constituintes das cápsulas plásticas de café e abra uma possibilidade de valorização, quer pela via da reciclagem, quer pela via da valorização energética, de todos os componentes que constituem as cápsulas de café usadas e/ou não comercializadas, por defeito, expiração de prazo de consumo, etc.

1.2. OBJETIVOS

A presente dissertação, tem como principal objetivo explorar uma metodologia de Desenvolvimento de Produtos e Processos para criar um novo processo de desmembramento e separação das cápsulas de café, por forma a possibilitar a posterior valorização dos elementos constituintes das cápsulas.

Para o efeito serão estudadas e apresentadas especificações para um processo de desmembramento e separação dos constituintes das cápsulas de café usadas e/ou não comercializadas, por defeito, expiração de prazo de consumo, etc.

O processo a desenvolver deverá garantir a valorização, pela via da reciclagem e/ou pela via da valorização orgânica, de todos os componentes da cápsula de café, nomeadamente, do plástico e da borra de café que, para que permitam a obtenção de produtos de qualidade, deverão conter o mínimo possível de contaminantes.

1.3. METODOLOGIA

A concretização dos objetivos supra apresentados, assenta na metodologia preconizada por *Ulrich & Eppinger* (Ulrich & Eppinger, 2008), para o desenvolvimento de produtos e processos (Página 5).

Esta metodologia propõe o desenvolvimento de um projeto dividido em 6 (seis) fases, o trabalho desenvolvido incide, apenas, sobre as 3 (três) primeiras fases, o qual culminará com a fase de “desenho dos sistemas”, no qual serão estudadas e explanadas as especificações para o processo de separação e desmembramento de cápsulas de café.

Serão abordados, no decorrer da dissertação, os levantamentos bibliográficos realizados para dar resposta às necessidades criadas durante a execução do trabalho, sustentando as decisões tomadas durante a realização do mesmo.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação encontra-se organizada em 7 capítulos. No primeiro capítulo - Introdução - faz-se uma breve introdução à dissertação, nomeadamente no que diz respeito ao enquadramento, objetivos e metodologia utilizada durante a realização do trabalho.

O segundo e terceiro capítulos enquadram o levantamento bibliográfico realizado, e que dará suporte ao desenvolvimento do caso de estudo em análise. No segundo capítulo dá-se destaque à metodologia utilizada para o desenvolvimento de processos, procedendo-se à explicação de cada uma das fases preconizadas pela metodologia. No terceiro capítulo, destacam-se os vários métodos de separação de misturas sólidas existentes e a sua aplicação prática. Este capítulo revela-se de crucial importância para apoio à seleção do método mais adequado para a separação da cápsula plástica e da borra de café.

O quarto capítulo é dedicado à apresentação do caso de estudo propriamente dito e à análise dos resultados obtidos no trabalho experimental. Em primeiro lugar é efetuado um enquadramento do mercado atual das cápsulas de café, e da necessidade de desenvolvimento de um processo industrial de desmembramento e separação das cápsulas usadas e não comercializadas. Na apresentação do caso de estudo e dos resultados obtidos, foram utilizados para cada um dos subcapítulos designações iguais às várias fases da metodologia utilizada, espelhando o trabalho realizado em cada uma das fases definidas como objetivo.

O quinto capítulo – Conclusões e Considerações Gerais – apresenta-se uma análise aos resultados obtidos e às dificuldades encontradas durante a realização do trabalho. Neste capítulo são, ainda, apresentadas as principais conclusões e são promovidas algumas referências para o aprofundamento de questões, passíveis de serem desenvolvidas em trabalho futuro.

Por fim a dissertação termina com as referências utilizadas no desenvolvimentos da mesma e com os anexos.

2. DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS

O desenvolvimento de processos e de produtos, é uma matéria com uma vasta área de estudo, resultado da crescente exigência do mercado, cada vez mais competitivo e inovador. O planeamento e desenvolvimento de novos processos têm-se revelado fulcrais para o sucesso das empresas, pois a rapidez e eficiência com que respondem às necessidades do momento determinam, muitas vezes, o sucesso da organização. Trata-se de um processo iterativo, que deve ter um compromisso de permanente melhoria e um incremento no grau de inovação, dado que estes são fatores fundamentais para o sucesso de uma empresa.

Outro ponto que não se deve descurar, quando se fala sobre o desenvolvimento de processos e de produtos, são as necessidades que o mercado impõe às organizações.

O livro *Innovation War* (Von Braun, 1997) refere que o ciclo de vida dos produtos diminuiu em 400% nos últimos 50 anos. Outro estudo, este da *American Productivity and Quality Center* (American Productivity & Quality Center, 2003), refere que apenas 56% dos desenvolvimentos de novos produtos atingem os objetivos expectáveis, e que só 51% são lançados na data prevista. Estes indicadores mostram-nos uma verdadeira pressão sobre o desenvolvimento de novos produtos e processos, pois se é verdade que o lançamento de algo novo acarreta sempre um risco substancial, então é imperativo que se faça uma gestão desse risco por forma a que os projetos de desenvolvimento cumpram os objetivos previstos.

2.1. ESTÁGIOS DO DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS

O facto do desenvolvimento de um novo produto ou processo requerer uma visão clara dos objetivos a atingir, impõe uma sistematização do trabalho a desenvolver, concretizada através da criação de fases distintas no projeto, cada uma delas com objetivos parciais imperativos de atingir.

Deste modo a gestão, o acompanhamento e o controlo do projeto tornam-se mais simples, minimizando o risco de insucesso.

Um processo genérico de desenvolvimento de processos consiste em seis fases tal como se mostra na figura seguinte.

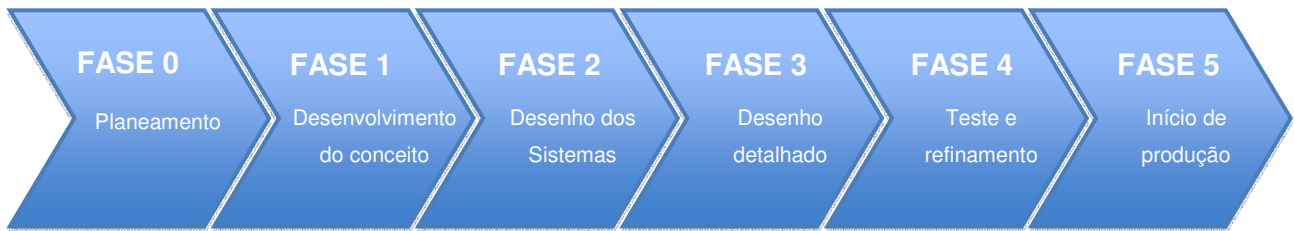


Figura 2.1 – Processo genérico de desenvolvimento de processos – adaptado de (Ulrich & Eppinger, 2008)

2.1.1. Fase 0 – Planeamento

O projeto tem o seu início com a Fase 0 – Planeamento. Esta fase é determinante para o sucesso do projeto, nesta propõe-se a execução do plano através do correto e rigoroso planeamento das atividades, acompanhado de uma proposta realista dos objetivos e da definição de uma estratégia a seguir. Nesta fase serão, também, analisados e identificados todos os recursos necessários, quer do ponto de vista tecnológico, como também os meios materiais e humanos a afetar ao projeto.

2.1.2. Fase 1 – Desenvolvimento de conceito

Nesta fase definem-se as várias possibilidades e alternativas a serem testadas.

Nesta fase dar-se-á início aos testes que definirão as soluções finais a serem utilizadas. Esta é uma fase de decisões, por excelência, sendo também aquela que se prevê que irá envolver maior quantidade de recursos tecnológicos, materiais e humanos.

A fase de “desenvolvimento de conceito” define, na prática, todo o percurso do trabalho a desenvolver, isto é, a definição da solução a desenvolver, iniciada pela fase de “Planeamento” – onde previamente se definiram os objetivos a atingir, a estratégia a seguir e se identificam algumas soluções eventualmente a analisar. Esta fase é, então, decisiva, ficando nela decidido o sucesso ou insucesso do trabalho.

Os testes a efetuar poderão consistir na utilização de protótipos que permitam simular as soluções preconizadas, inferindo destes a viabilidade de aplicação real das mesmas.

2.1.3. Fase 2 – Desenho dos sistemas

Conforme supra citado, da Fase 1, após cada uma das soluções previamente identificadas, na Fase 0, serem devidamente testadas e analisadas, resulta a identificação da solução mais adequada a desenvolver. Para esta solução será efetuada a conceptualização do

processo, onde será esboçada a sua arquitetura e as especificações a serem tomadas em consideração no desenho do sistema.

Desta fase resultará um desenho genérico do processo, onde irão constar as principais características do sistema, com a integração dos vários componentes e suas funções, e ainda um conjunto de especificações que deverão ser tomadas em conta no desenvolvimento da fase seguinte – desenho detalhado.

A presente dissertação, tal como já foi referido no capítulo anterior, apenas incide sobre as 3 (três) primeiras fases da metodologia, sendo apresentado no presente trabalho um esboço do sistema proposto, bem como um conjunto de especificações dos equipamentos a utilizar na construção do mesmo.

2.1.4. Fase 3 – Desenho detalhado

Uma vez definidos todos os componentes e as suas características e tolerâncias, o processo fica completamente definido e pronto para ser realizado, tendo implícito que a identificação, negociação e contratualização dos vários fornecedores dos diversos componentes esteja também definida e concluída.

Desta fase do projeto sairá, finalmente, o processo completamente desenvolvido, pronto para ser construído.

2.1.5. Fase 4 – Teste e refinamento

De particular importância, a Fase 4 – Teste e refinamento - representa um momento no projeto de pequenas alterações/ajustes ao processo por forma a melhorar a sua performance. É relevante, também, a fase de testes, por forma a prevenir eventuais problemas e contratempos que surgirão no início da produção.

Mais uma vez, sempre que possível, o recurso a protótipos é uma via importante de teste e validação.

2.1.6. Fase 5 – Início de produção

Nesta fase, proceder-se-á à implementação do novo sistema produtivo, com todos os elementos necessários, identificados na Fase 3, acompanhados de eventuais ajustes decorrentes da Fase 4.

A formação dos recursos humanos é de grande importância, logo na fase de testes, pois permitirá a detecção e eliminação de eventuais problemas remanescentes do processo desenvolvido.

3. SEPARAÇÃO MECÂNICA DE ELEMENTOS

Para a prossecução dos objetivos propostos para a dissertação, é de suma importância a identificação dos tipos de separação mecânica existentes e utilizados na indústria.

Ao longo dos tempos têm-se vindo a desenvolver diferentes meios de separação de elementos sólidos, cada um ajustado às características dos sólidos a separar e às necessidades sentidas. Um levantamento dos diferentes meios de separação de sólidos existentes, tendo em conta a sua aplicabilidade, as suas vantagens e desvantagens, permite selecionar o meio de separação mais indicado para o fim desejado.

3.1. MÉTODOS MECÂNICOS DE SEPARAÇÃO DE ELEMENTOS SÓLIDOS

Existem vários métodos de separação de misturas sólido – sólido, do quais se destacam, os apresentados nos subcapítulos seguintes, por serem os mais frequentemente utilizados.

3.1.1. Catação

A catação (Figura 3.1) é um método de separação de misturas sólidas baseado nas diferenças visíveis dos elementos a serem separados.

Este método, apesar de demorado, demonstra utilidade pela sua simplicidade. Os elementos a serem separados são seleccionados individualmente e manualmente.

Pode-se encontrar aplicabilidade neste modo de separação em postos de controlo de qualidade de uma linha de produção em que apenas se analisam pequenos lotes, em busca de produtos não conformes, ou nos postos de triagem por exemplo dos centros de reciclagem.



Figura 3.1 – Catação numa estação de triagem de resíduos (Fonte: Jornal das Caldas, Setembro 2010)

3.1.2. Peneiração

O método de separação por peneiração (Figura 3.2), consiste na classificação dos elementos da mistura pela sua granulometria.

Utiliza para realizar esta separação, redes com malhas (peneiras) cujas aberturas deixam passar os elementos de menor granulometria (de menor dimensão que a malha), retendo na peneira os elementos de maior granulometria.

A peneiração consiste assim na colocação da mistura cujos elementos a separar tenham diferentes granulometrias sobre uma peneira, sujeitando esta a vibração.

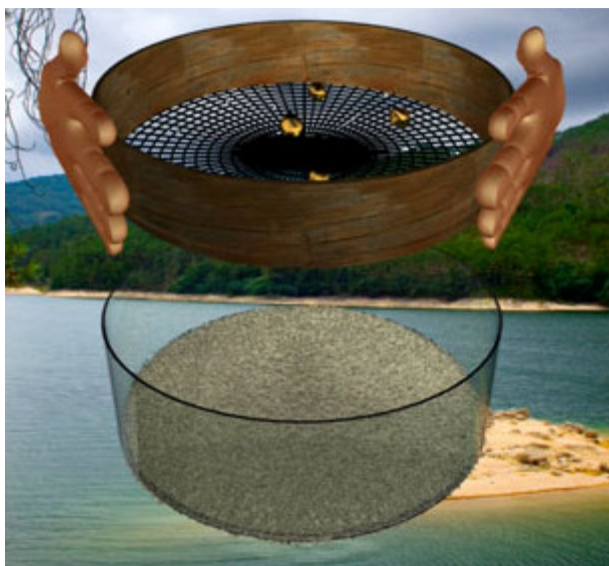


Figura 3.2 – Peneiração (Fonte: Portal das Escolas, Dezembro 2010)

3.1.3. Levigação

A levigação é uma técnica de separação de misturas, que utiliza a diferente densidade dos materiais para realizar a separação da mistura.

Na separação através de levigação, utiliza-se a água como modo de arrastar na sua corrente o elemento menos denso, deixando para trás o elemento de maior densidade.

Um exemplo conhecido de utilização deste método de separação, é na procura de ouro em que este vem misturado com areias, e como tal a água vai arrastar a areia (elemento menos denso), e o ouro vai ficar depositado no fundo do recipiente (elemento mais denso). A Figura 3.3 ilustra este processo.



Figura 3.3 – utilização de levigação na prospecção de ouro (Fonte: <http://goldprice.org>)

3.1.4. Ventilação

A ventilação, representada na Figura 3.4, à semelhança da levigação, baseia-se na diferença de densidades entre os dois sólidos a serem separados.

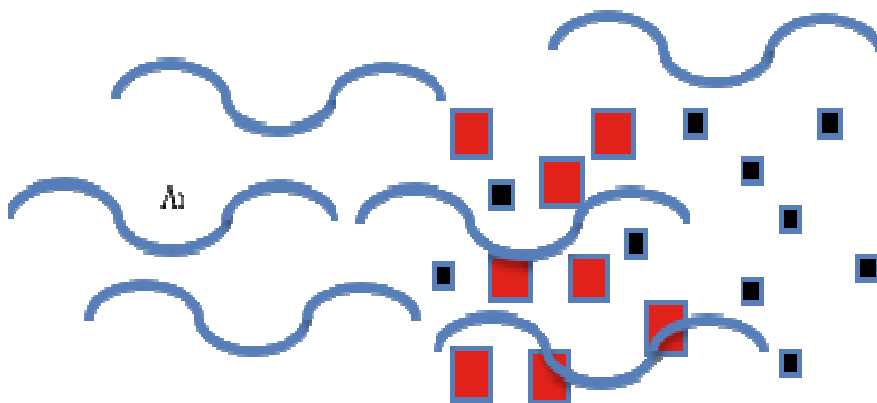


Figura 3.4 – Ventilação

Utiliza o ar como elemento que subtrai à mistura o elemento menos denso e, portanto, mais leve. Este método de separação é utilizado, por exemplo, para separar cascas dos grão de arroz, dos grão de café ou do amendoim.

3.1.5. Separação Magnética

A separação magnética (Figura 3.5) é um método de separação específica das misturas cujo componente a subtrair à mistura possua propriedades magnéticas.

Este método de separação, sujeita a mistura alvo a um campo magnético, fazendo com que o material a separar seja atraído para esse campo, separando-o da restante mistura.

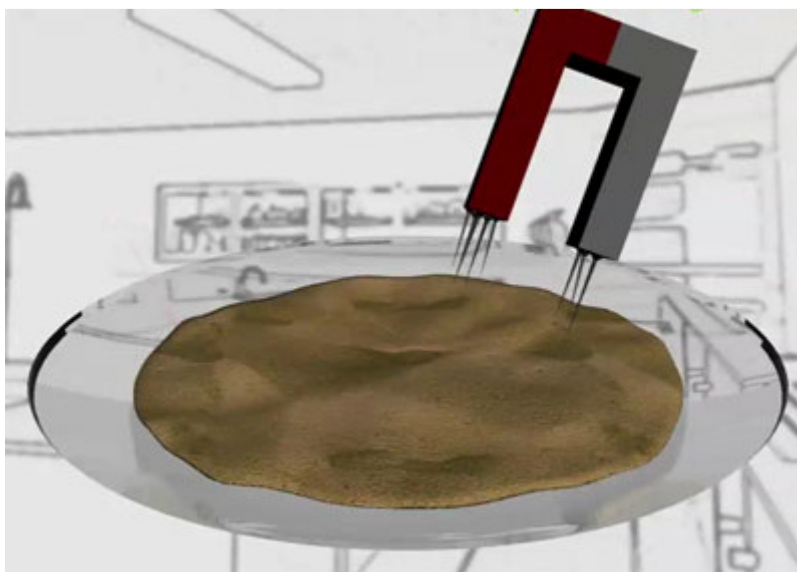


Figura 3.5 – Separação magnética (Fonte: Portal das Escolas, Outubro de 2010)

3.1.6. Sublimação

A sublimação é a passagem sofrida por um material do seu estado sólido para o estado gasoso. O ponto em que a pressão de vapor do sólido iguala a pressão aplicada. O ponto de sublimação, assim como o ponto de ebulição e o ponto de fusão, é definido como o ponto no qual a pressão de vapor do sólido se iguala a pressão aplicada (pressão externa).

A sublimação, como método de separação de misturas, é por exemplo utilizada na separação do iodo da areia. A mistura é aquecida até que ocorra a sublimação do iodo que uma vez separado da areia, e em contacto com uma superfície fria, voltará a solidificar.

A Figura 3.6 ilustra uma montagem experimental deste processo.

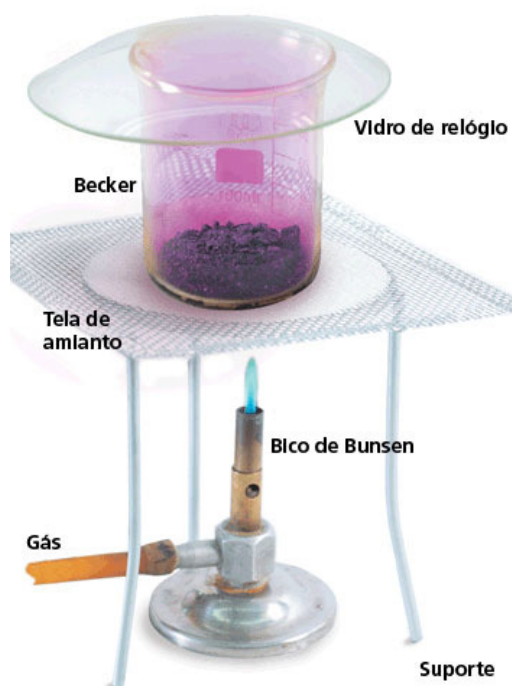


Figura 3.6 – Sublimação o iodo (Fonte: <http://revistaescola.abril.com.br>)

3.2. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE SEPARAÇÃO

A Tabela 3.1 seguinte, sumaria os métodos anteriormente descritos e suas principais características, assim como algumas desvantagens de cada método apresentado.

Tabela 3.1 - Métodos de separação de sólidos

Método de separação	Características	Desvantagens
Catação	Separação com base em características visuais.	<ul style="list-style-type: none"> - Moroso; - Apenas aplicável a processamento de pequenas quantidades de misturas de sólidos; - Requer bastante mão de obra humana.
Peneiração	Separação com base na diferença de granulometria dos elementos.	<ul style="list-style-type: none"> - Separação limitada ao calibre da malha selecionada; - Obrigatoriedade de granulometrias claramente distintas.
Levigação	Separação com base na diferença de densidade dos elementos, utilizando a água como elemento de transporte dos elementos menos densos.	<ul style="list-style-type: none"> - Obrigatoriedade de densidades claramente distintas, tendo em conta que o material a separar é passível de ser transportado pela água.
Ventilação	Separação com base na diferença de densidade dos elementos, utilizando o ar como elemento de transporte dos elementos menos densos.	<ul style="list-style-type: none"> - Obrigatoriedade de densidades claramente distintas, tendo em conta que o material a separar é passível de ser transportado pelo ar.
Separação Magnética	Separação específica, utilizada quando um dos elementos a separar tem propriedades magnéticas.	<ul style="list-style-type: none"> - Apenas aplicável quando um dos sólidos a separar tem propriedades magnéticas.
Sublimação	Separação utilizada quando um dos elementos da mistura tem a possibilidade de sofrer este fenómeno.	<ul style="list-style-type: none"> - Apenas aplicável quando um dos sólidos a separar pode sofrer sublimação.

A seleção de um método de separação prende-se, essencialmente, pela sua aplicabilidade, nomeadamente as características dos materiais a separar, e não apenas pelas vantagens e/ou desvantagens associadas a cada um dos métodos.

Dos métodos enumerados destaca-se a separação por peneiração que por ser um método que classifica e separa os materiais através da sua granulometria, sendo o método utilizado neste projeto.

No subcapítulo seguinte aprofunda-se o conhecimento atual sobre os métodos industriais atualmente utilizados, com base no princípio da peneiração.

3.3. PENEIRAS

O método da peneiração, tal como supra referido, apresenta-se como o sistema mais vantajoso a utilizar quando se trata de separar dois sólidos de granulometria diferente entre si.

Tradicionalmente, este método consiste na passagem da mistura através de uma malha com dimensão suficiente para deixar passar o sólido de menor granulometria, e suficientemente pequena para não deixar passar as partículas maiores. Com base neste princípio, surgiram equipamentos industriais, onde a movimentação pode ser conseguida através de vibração ou de rotação.

3.3.1. Peneiras vibratórias

De entre as peneiras vibratórias, destacam-se um considerável número de soluções técnicas hoje em dia utilizadas em meio industrial.

Vários sistemas têm vindo a ser desenvolvidos, por forma a dar resposta às crescentes necessidades que a indústria tem tido para classificar os seus materiais.

No catálogo do fabricante Multivibro destacam-se os seguintes sistemas:

- Peneiras vibratórias circulares
- Peneiras vibratórias horizontais
- Peneiras vibratórias inclinadas

Peneiras vibratórias circulares

As peneiras vibratórias circulares (Figura 3.7), baseiam-se na peneiração através do movimento espiralar realizado pelas vibrações produzidas.



Figura 3.7 – Peneira vibratória circular (Manfredini & Schianchi)

Este sistema permite, à semelhança de outros, vários níveis de peneiração (Figura 3.8), potenciando, assim uma maior capacidade de peneiração e classificação dos produtos.

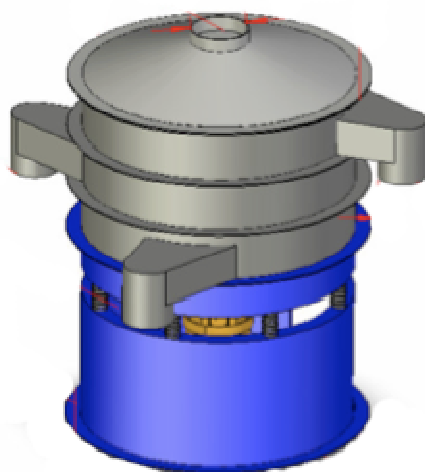


Figura 3.8 – Peneira vibratória com 3 níveis (MultiVibro)

O funcionamento destas peneiras, tal como anteriormente referido, assenta num movimento espiralar fazendo com que as matérias a peneirar sigam um movimento de dentro para fora da superfície de peneiração, tal como ilustrado na figura 3.9.

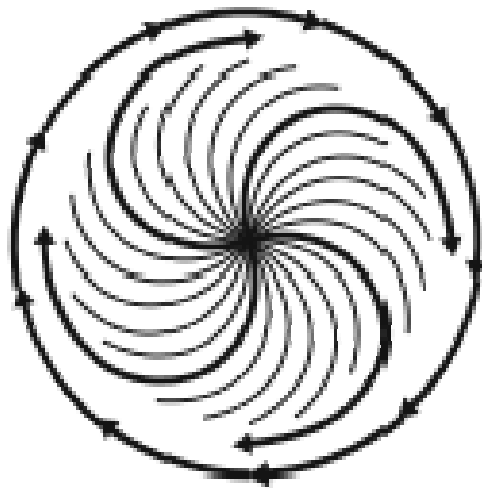


Figura 3.9 – Movimento espiral numa peneira vibratória circular (Rotopen)

Este movimento pode ser ajustado, regulando a amplitude de vibração, o andamento espiral do produto sobre a tela, a velocidade de avanço, e também o tempo de peneiração.

Peneiras vibratórias horizontais

As peneiras vibratórias horizontais, são a configuração mais utilizada na indústria para a classificação de materiais.

Na figura 3.10 observa-se um desenho esquemático de uma peneira vibratória horizontal.

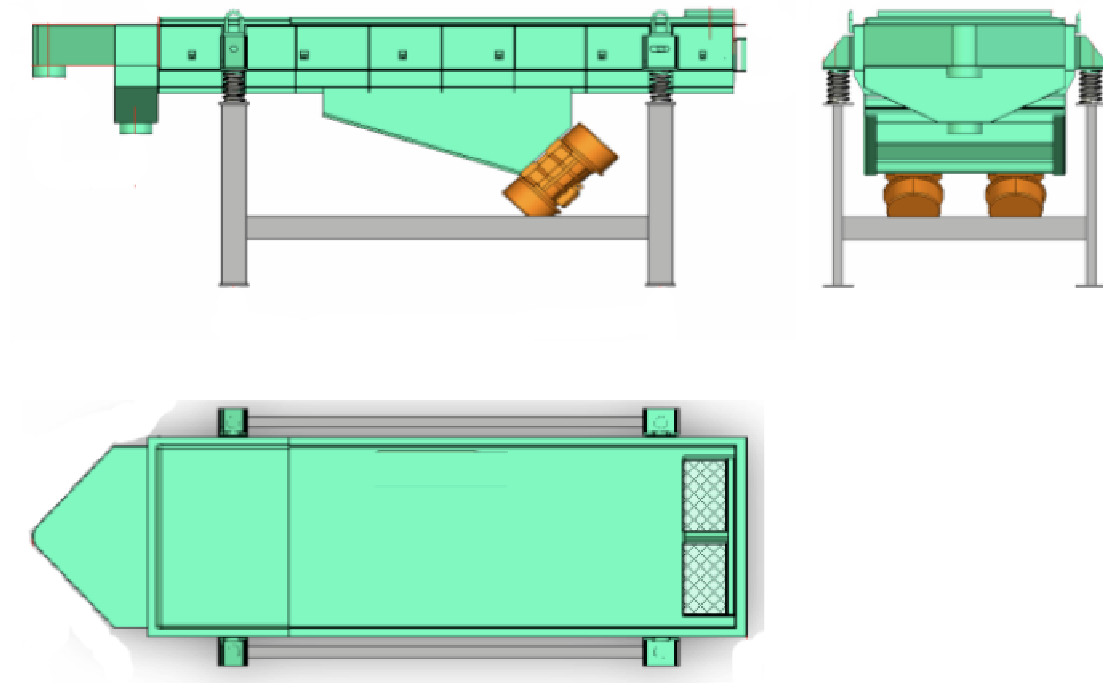


Figura 3.10 – Peneira vibratória horizontal (MultiVibro)

Funcionam por meio de vibração linear que, para além de resultar na classificação dos produtos, promove a deslocação destes ao longo do corpo da peneira.

As peneiras vibratórias horizontais conferem ainda, a possibilidade de utilizar mais que uma plataforma de peneiração, ilustrado na figura 3.11, criando assim a hipótese de refinar a qualidade do produto obtido, ou classificá-lo em diferentes granulometrias.

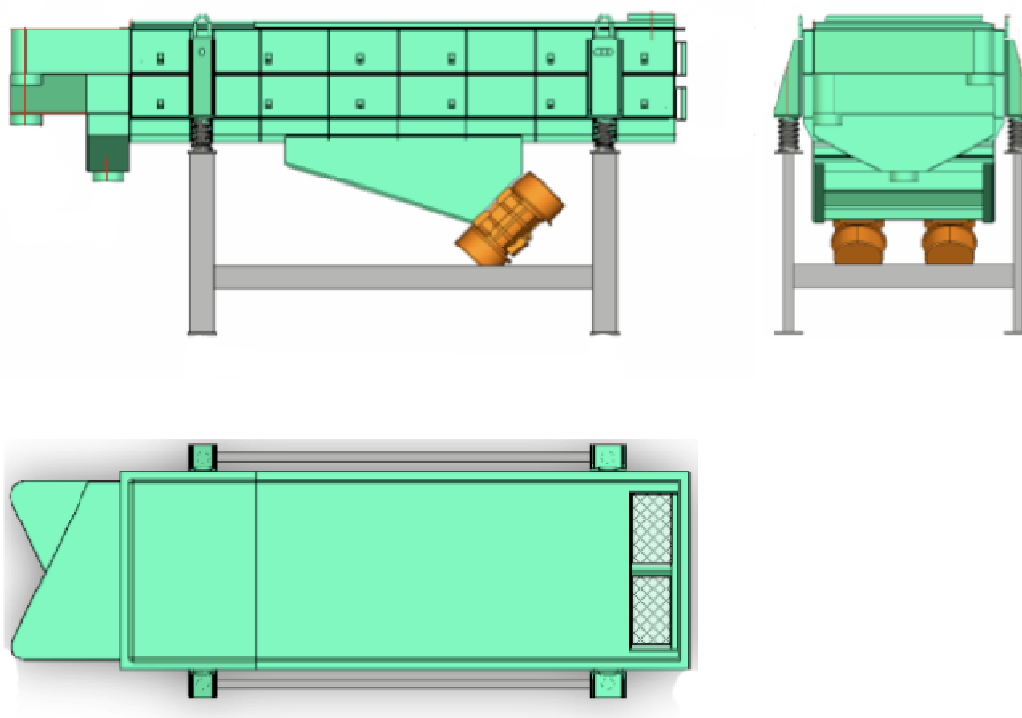


Figura 3.11 – Peneira vibratória horizontal com dupla plataforma de peneiração (MultiVibro)

Peneira vibratória inclinada

Com um princípio de funcionamento semelhante às peneiras vibratórias horizontais, as peneiras vibratórias inclinadas (Figura 3.12), juntam à vibração linear, a inclinação como modo de locomoção dos materiais no tabuleiro da peneira.

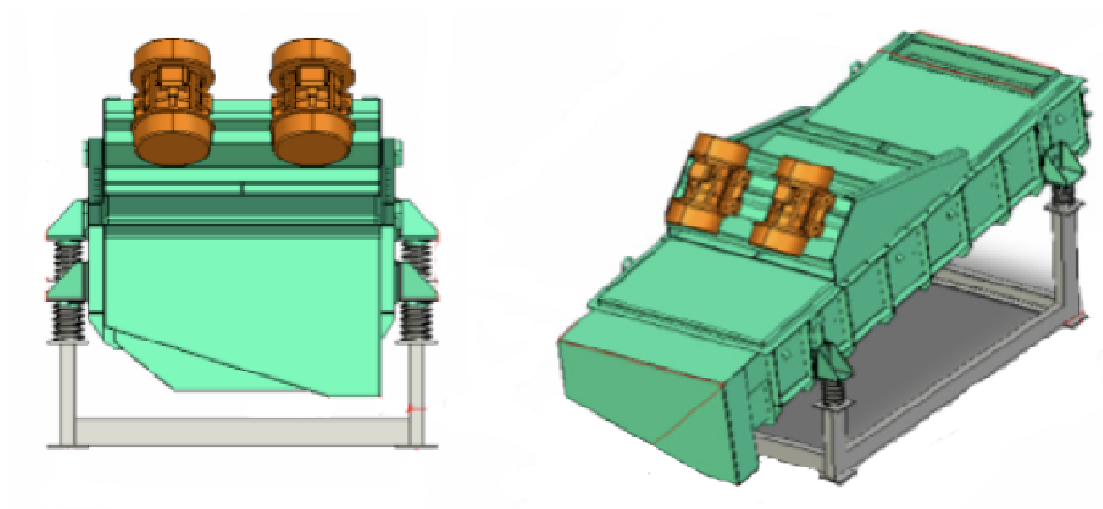


Figura 3.12 – Peneira vibratória inclinada (MultiVibro)

Este princípio, apresenta como vantagem a maior rapidez de peneiração potenciado pela inclinação, e no caso de se tratar de multiplataformas, a possibilidade de fazer diferenciação entre estes no que se refere ao tempo que os materiais devem permanecer em cima do tabuleiro.

3.3.2. Peneiras rotativas

As peneiras rotativas, por contraste às peneiras vibratórias, que assentam todas no princípio da separação pela amplitude e frequência provocadas pela vibração, utilizam o poder da rotação como adjuvante do processo de separação.

As peneiras rotativas, apesar de também poderem ser utilizadas para separar sólidos pela sua granulometria, hoje em dia são amplamente utilizadas na separação de sólidos de líquidos.

A figura 3.13 apresenta um exemplo de uma peneira rotativa.



Figura 3.13 – Peneira rotativa (Fonte: ICMELC – Indústria e Comércio de Máquinas, LDA)

Apesar de muito eficientes, este tipo de peneiras podem apresentar, num processo industrial, alguns problemas, sendo o principal a inviabilização de realização de dois estágios de peneiração com o mesmo equipamento.

4. CASO DE ESTUDO – DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL DE DESMEMBRAMENTO E SEPARAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS CÁPSULAS DE CAFÉ

4.1. A INDÚSTRIA DAS CÁPSULAS DE CAFÉ

Durante o primeiro semestre de 2010, foram vendidas 7,6 milhões de unidades de cafés em supermercados e hipermercados, dos quais 750 mil foram cápsulas de café (Dutra, 2010).

O mercado das cápsulas de café, encontra-se em franca expansão, com um crescimento anual, a rondar os 100 %, contribuindo para isso a comodidade associada à preparação do café neste novo formato.

Os gráficos seguintes, Gráfico 4.1 e Gráfico 4.2, ilustram a enorme importância que o mercado das cápsulas tem vindo a assumir.

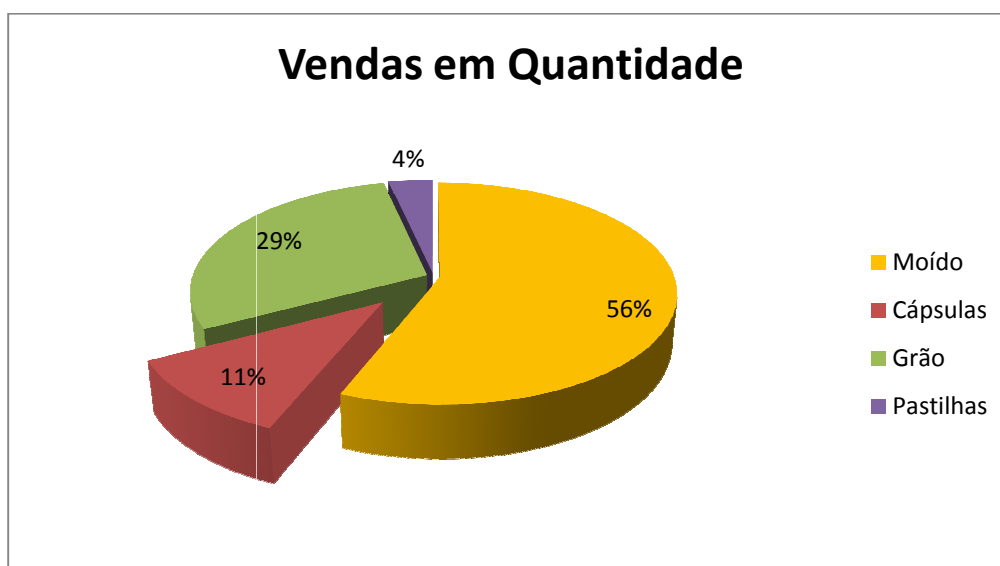


Gráfico 4.1 - Vendas de café em quantidade no 1º semestre de 2010

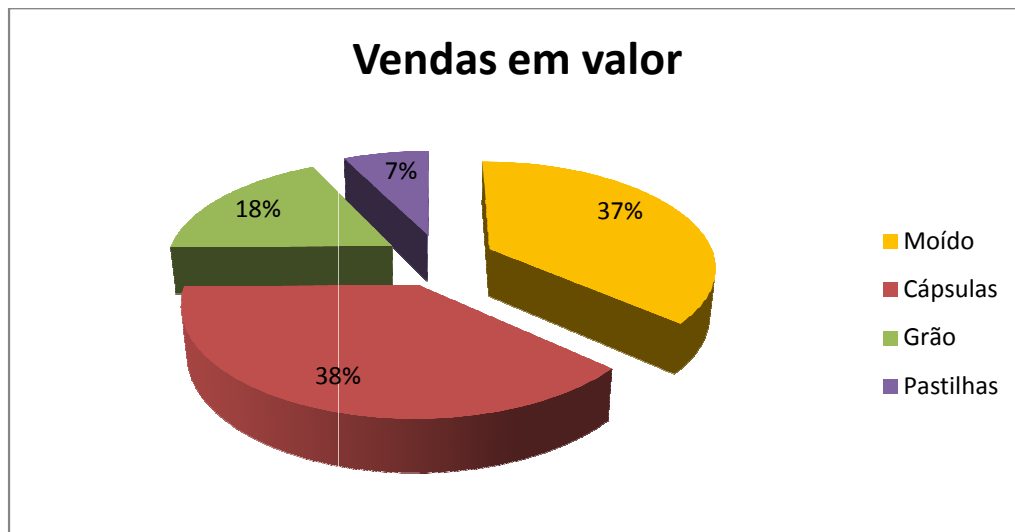


Gráfico 4.2 - Vendas de café em valor no 1º semestre de 2010

Nos últimos gráficos pode observar-se a vantagem económica, para os agentes, da venda de café em cápsulas, em oposição à venda de café moído, formato mais tradicional que, apesar de tudo, detém ainda uma quota de mercado de cerca de 56 % da quantidade total de vendas de café.

O café em cápsulas acaba por se evidenciar, pois para uma quota de apenas 11 % da quantidade de café vendida, detém 38 % das vendas realizadas.

Este fator explica a crescente aposta dos operadores neste segmento, não só porque o mercado está preparado para aceitar este produto, como o valor acrescentado deste formato de venda é bastante superior a qualquer outro tipo de formato.

No gráfico seguinte ilustra-se o crescimento das vendas dos diferentes formatos de café comercializados.

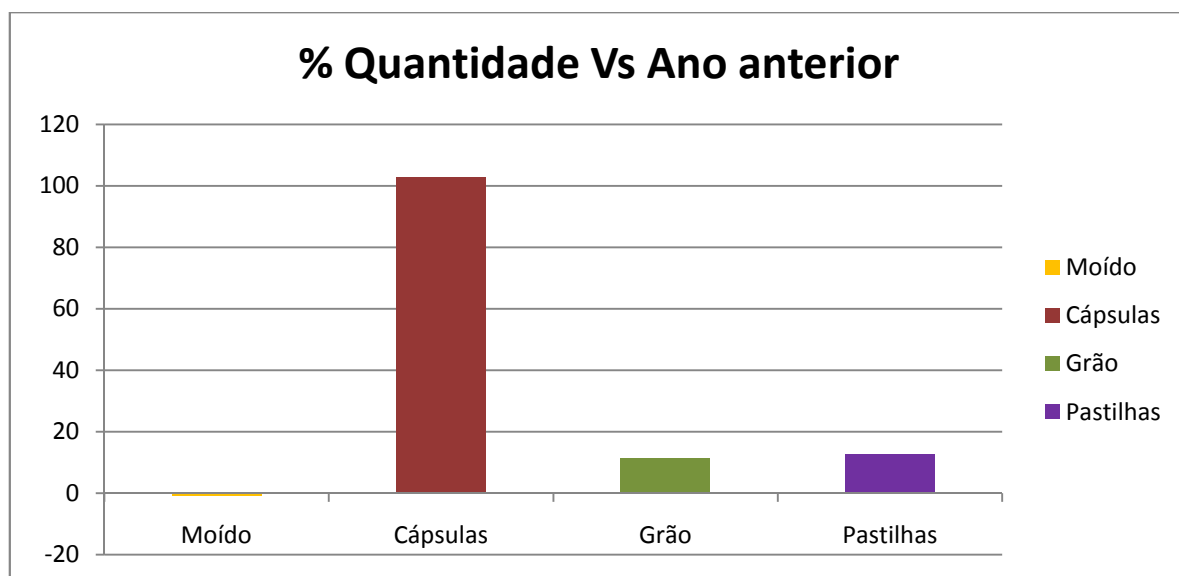


Gráfico 4.3 - Crescimento homólogo dos vários formatos de venda de café (1º Semestre 2010)

Como se pode observar, o mercado das cápsulas, está em franca expansão, com um crescimento acima de 100 %, enquanto os restantes formatos mantêm as suas vendas estagnadas.

Todos estes fatores, explicam portanto a atratividade do mercado das cápsulas, e a crescente aposta dos operadores neste formato de venda.

4.2. DELTA CAFÉS

A Delta Cafés, fundada em 1961 pelo Comendador Rui Nabeiro, é uma presença incontornável no mercado do café em Portugal.

A consolidação do negócio levou, em 1998, ao redesenho do Grupo Nabeiro – Delta Cafés, dando origem a 22 empresas, que atuam em diferentes setores: Industrial, Comercial, Distribuição, Serviços, Turismo, Agricultura e Imobiliário. Com cerca de 40 % do mercado português de café, a Delta Cafés atua também diretamente no mercado espanhol, onde detém cerca de 5 % do mercado, estando presente nos cinco continentes e em mais de cinquenta países através de parceiros e distribuidores.

As figuras seguintes ilustram a presença da Delta Cafés em Portugal, Espanha e no mundo.

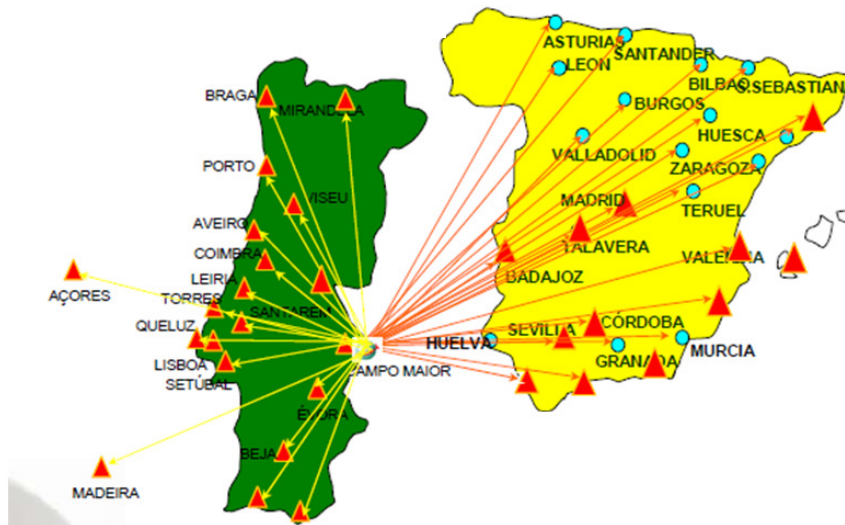


Figura 4.1 - A delta cafés em Portugal e Espanha (Delta Cafés)



Figura 4.2 - A delta cafés no mundo (Delta Cafés)

4.2.1. Delta ReThink

O conceito Delta Q é a resposta da Delta Cafés, à crescente procura do mercado das cápsulas de café, por parte do consumidor final. Segundo dados da Nielsen, as cápsulas Delta Q, detêm atualmente cerca de 44 % da quota de mercado em Portugal.

Pela consciência da sua posição no mercado, e pelo impacte gerado pela deposição em aterro sanitário de cápsulas plásticas de café, foi criado o programa ReThink, apoiado pelo QREN, com o objetivo de aumentar o ciclo de vida do café. Desenvolvido em parceria com

diversas entidades de diferentes áreas e especialidades, que compõem um *cluster* público-privado de Investigação, todas com o único objetivo de potenciar a valorização das cápsulas de café.

O projeto é, essencialmente, composto por três áreas essenciais:

- Estudo das melhores formas de valorização do plástico e da borra, previamente separados;
- Processos logísticos envolvidos na recolha das cápsulas usadas;
- Sistema de desmembramento e separação das cápsulas, com vista à sua valorização.

A presente dissertação incide, apenas, na terceira área supracitada, conforme descrito em seguida.

4.3. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O caso de estudo centra-se no desenvolvimento e conceptualização de um processo industrial com vista ao desmembramento e separação dos constituintes das cápsulas de café.

Um estudo que vise a valorização das cápsulas de café tem de passar, necessariamente, por três grandes fases, nomeadamente a recolha das cápsulas usadas, a sua preparação para valorização, e a valorização propriamente dita.

Este trabalho insere-se, portanto, na preparação das cápsulas usadas e/ou não comercializadas para valorização, propondo-se a criação das condições necessárias para a separação dos diferentes constituintes das cápsulas de café, de forma a permitir uma subsequente valorização dos mesmos.

Assim, este caso de estudo centrar-se-á no desenvolvimento conducente a este mesmo processo industrial.

No Capítulo 2, são apresentadas as fases de desenvolvimento propostas por Ulrich e Eppinger. Conforme referido, a presente dissertação irá desenvolver a metodologia apresentada apenas até à Fase 2 - Desenho de sistemas - ou seja, criar condições, premissas e especificações, para futuramente se partir para uma fase de desenho detalhado. Para o efeito, serão conduzidos testes laboratoriais, construídos protótipos à escala sempre que se mostrarem necessários.

Os estudos a desenvolver centrar-se-ão, sobretudo, em três etapas principais, consideradas de suma importância para o desenvolvimento deste processo, nomeadamente:

- Desmembramento da cápsula;
- Separação dos elementos;
- Lavagem.

4.3.1. Desmembramento da cápsula

Para esta etapa do processo, identificaram-se duas soluções distintas a serem estudadas.

Uma primeira solução que consiste na abertura da cápsula por esmagamento lateral da mesma, que resulta na saída da tampa soldada sendo, para tal, necessário caracterizar as forças envolvidas no processo.

A segunda solução é baseada na trituração das cápsulas sendo, para o efeito, necessário encontrar a forma e os parâmetros adequados para garantir uma eficaz separação dos elementos resultantes da mistura final.

4.3.2. Separação dos elementos

Esta fase é da maior importância, já que é nesta etapa que os elementos da cápsula, desmembrados na etapa anterior, serão separados para posterior encaminhamento para valorização.

Será, então, nesta etapa que se comprovará os resultados obtidos na etapa anterior, e se estes foram suficientes e condizentes com os objetivos de separação em quantidade e qualidade pretendidos.

Para tal, nesta etapa, projetar-se-á um protótipo funcional, de forma a simular o funcionamento de uma peneira vibratória, que permitirá atestar as condições necessárias para efetuar uma boa separação da borra de café da parte plástica, e fazer um efetivo destroçamento da borra de café, caracterizando-se depois os resultados obtidos.

4.3.3. Lavagem

Uma vez que o destino final dos elementos será, em princípio, a reciclagem material e orgânica, do plástico e da borra de café, respetivamente, é essencial que os resíduos de

plástico resultantes deste processo estejam nas melhores condições possíveis à saída deste, isto é, com um grau de contaminação muito próximo de zero.

Como, e apesar da etapa anterior separar a borra de café do plástico, uma parte da borra de café permanecerá colada às superfícies plásticas da cápsula, será necessário proceder à lavagem dos resíduos de plástico.

Neste estudo propõe-se, então, proceder à conceptualização de um sistema de lavagem dos resíduos de plástico, resultantes da etapa de peneiração, sistema esse que deverá obedecer a um pré-requisito elementar - diminuir ao máximo o impacte ambiental gerado. O próprio processo a construir terá, dentro da medida do possível, que corresponder a esse mesmo requisito, ou seja, qualquer sistema de lavagem do plástico preconizado terá de manter a água utilizada dentro de um circuito fechado, sendo esta filtrada e reutilizada tantas vezes quanto as que forem possíveis para lavar as cápsulas.

Para alcançar este fim serão estudados, à partida, dois tipos de sistemas. Um sistema convencional, baseado em água quente com alguma pressão, e um sistema de alta pressão.

4.4. FASE 0 - PLANEAMENTO

No desenvolvimento deste trabalho, pretende-se obter o conhecimento necessário para a configuração de um novo processo industrial de desmembramento e separação das cápsulas de café, com o propósito de encaminhar todos os materiais para valorização (em principio pela via da reciclagem material e orgânica).

Tal como referido no capítulo anterior, pretende-se definir e caraterizar os meios industriais mais adequados para a concretização do objetivo final, ou seja, criar todas as condições para uma subsequente valorização dos materiais obtidos neste processo.

Para alcançar este objetivo, impõe-se a definição de uma metodologia, que permita guiar o desenvolvimento do trabalho, direcionando este para a concretização das premissas definidas.

Assim, o estudo divide-se essencialmente em três etapas, cujos resultados, julga-se conducentes aos objetivos propostos.

4.4.1. Desmembramento da cápsula

No desenvolvimento de um novo processo deve ter-se em conta a possibilidade de uma potencial solução não se mostrar adequada, como tal, sempre que possível deve-se ter mais

que uma para o mesmo problema, uma vez que ao centrar exclusivamente o trabalho numa única solução, existe a possibilidade de esta mostrar-se pouco indicada ou com resultados pouco satisfatórios, perdendo-se, assim, a oportunidade de alcançar a melhor solução possível para os objetivos propostos.

Entende-se assim, e uma vez que este passo constituir-se-á da maior importância para o sucesso do desenvolvimento deste processo, estudar-se duas soluções distintas para efetuar o desmembramento das cápsulas de café.

Moinho triturador

O moinho triturador (Figura 4.4) existe atualmente nas instalações da fábrica da Delta Cafés. O moinho foi projetado, inicialmente, para triturar cápsulas de café que nunca foram utilizadas (comercializadas), seja por se terem verificado defeitos na produção da cápsula, e como tal o seu conteúdo não teria, ainda, adição de água, sendo que as cápsulas estariam menos pesadas, e menos endurecidas, oferecendo desta forma menor resistência à trituração.

Uma vez que o moinho tem a possibilidade de calibrar a aproximação das mós, regulou-se esta aproximação por forma a que este exerça a maior pressão possível sobre as cápsulas, por forma a garantir uma abertura de 100% das cápsulas.



Figura 4.4 - Moinho triturador de cápsulas

Esta solução apresenta como vantagem a sua pré existência, ou seja, sabe-se de antemão que funciona e que cumpre os propósitos, não estando, nesta situação, em fase de protótipo à escala, mas sim já em forma de produto acabado.

Uma outra vantagem verificada na utilização do moinho prende-se com a sua elevada cadência, 10 kg/min de cápsulas processadas, prontas para a fase de separação.

Abertura por esmagamento

Pondera-se esta solução como alternativa ao método existente na empresa. O sistema foi pensado quer pela sua simplicidade de concepção, quer pela sua eventual eficácia na produção.

Foi desenvolvida uma montagem experimental, para aferir sobre as potencialidades desta solução, nomeadamente se esta garante os requisitos necessários e quais teriam que ser as características do sistema a conceptualizar para garantir os resultados obtidos em laboratório e que permitissem cumprir os objetivos desta etapa.

A montagem consistiu, essencialmente, na aplicação de um sensor de força instrumentado por um software elaborado em LabView© (Figura 4.6), desenvolvido para o efeito. Este sensor de força foi aplicado num torno de bancada, permitindo assim, um ensaio estático de compressão das cápsulas de café.

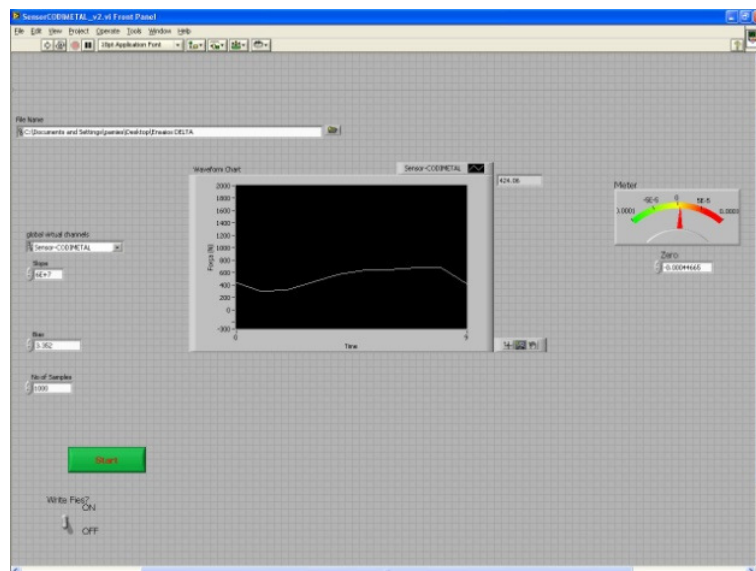


Figura 4.6 – Interface do sensor de força

Foram preconizados para a análise desta solução dois tipos de ensaios.

Um primeiro ensaio em que a força é exercida na ligação entre a base e a tampa(figura 4.7), e um segundo tipo de ensaio em que a compressão é exercida apenas na base da cápsula(figura 4.8).

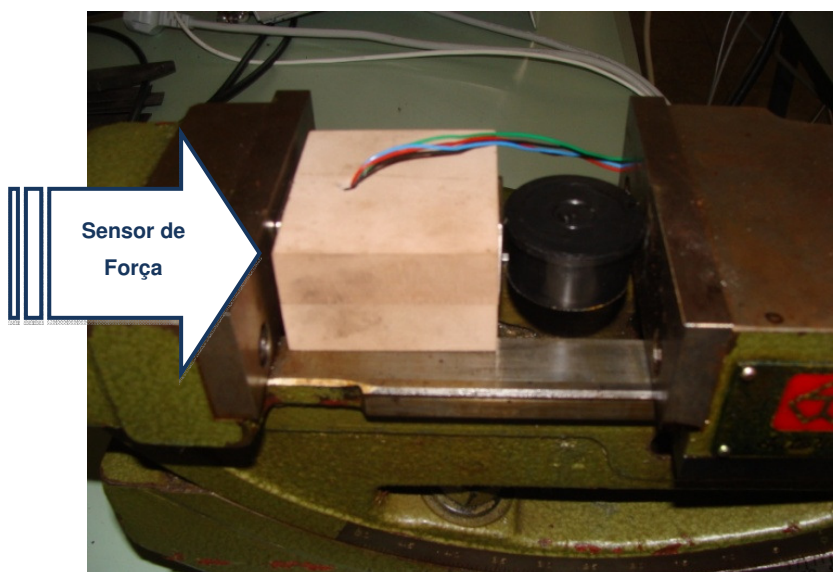


Figura 4.7 - Esmagamento na ligação entre a base e a tampa da cápsula

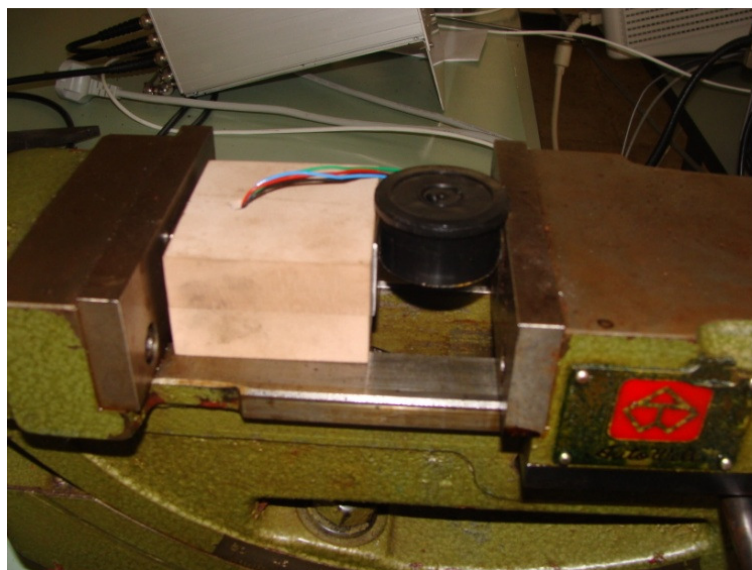


Figura 4.8 - Esmagamento na base da cápsula

Estes ensaios foram equacionados, uma vez que são estes os dois pontos de uma cápsula que, em princípio, apresentam maior fragilidade.

Neste caso o procedimento a seguir, será a abertura de algumas cápsulas através dos dois sistemas, para verificar as condições de abertura das cápsulas - força de compressão necessária e o estado de destroçamento das cápsulas - por forma a inferir sobre a facilidade da posterior separação dos diferentes materiais que compõem as cápsulas através da lavagem.

4.4.2. Separação dos elementos

A separação dos elementos, pela especificidade dos objetivos a concretizar com este novo processo industrial, assume particular importância na prossecução dos mesmos.

Atualmente, e de forma transitória, na instalação fabril da Delta Cafés, já existe um sistema de separação da borra de café do plástico das cápsulas, utilizando para o efeito um sistema que separa os elementos com o auxílio da água, tratando-se de um processo essencialmente manual.

O processo atualmente em uso revela-se moroso, obrigando a um considerável consumo de água e de recursos humanos, sendo portanto ineficiente do ponto de vista ambiental e industrial.

Por se entender que a metodologia utilizada poderá ser melhorada, procedeu-se à montagem de um protótipo experimental, constituído por uma peneira vibratória, a seco, tendo esta um ponto de excitação, provocada por um excitador eletrodinâmico.

De seguida descrevem-se as características dos principais elementos que constituem a montagem experimental.

Redes para peneiras

Foram utilizados dois tipos de rede, tendo como objetivo a determinação de qual o tipo de rede que melhor se ajusta à utilização proposta.

- **Rede 1**

- Calibre da Malha: 3mm;
- Arame: 1,6 mm.

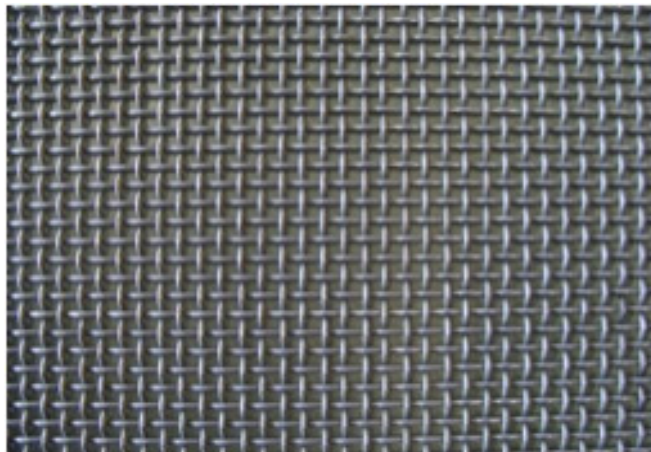


Figura 4.9 - Rede com malha de 3 mm (malha pequena)

- **Rede 2**

- Calibre da malha: 4 mm;
- Arame: 2 mm.

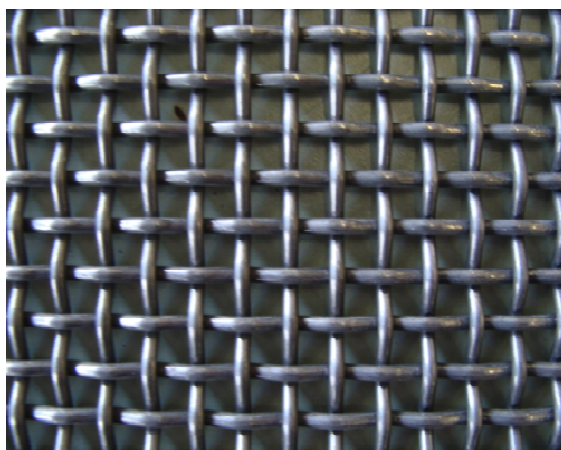


Figura 4.10 - Rede com malha de 4 mm (malha grande)

Molas

Numa peneira por vibração o tabuleiro deve ficar apoiado por molas, já que estas terão que acompanhar o movimento de vibração imposto.

Foram utilizadas na montagem experimental molas do tipo helicoidais (Figura 4.11), com um arame de diâmetro 3 mm, comprimento livre de 60 mm e 6 espiras.



Figura 4.11 - Molas utilizadas na montagem experimental

Vibrador Eletrodinâmico

O vibrador eletrodinâmico, constitui um elemento fundamental na execução deste estudo. Trata-se de um instrumento que permite imprimir na peneira diferentes frequências e

amplitudes, dependendo da sua massa, procurando que este atue numa frequência perto da ressonância.

As principais características do vibrador eletrodinâmico utilizado na montagem experimental e ilustrado na Figura 4.12 são:

- Modelo V406 M4;
- Gama de frequências: até 9KHz;
- Deslocamento máximo: 14 mm pico-pico;
- Velocidade máxima: 1,52 m/s pico;
- Aceleração máxima: 100 g pico;
- Massa do elemento móvel: 0,2 kg.

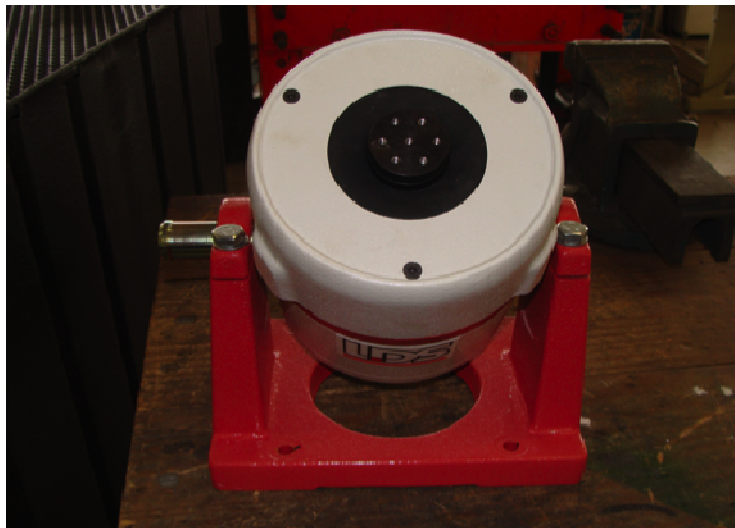


Figura 4.12 - Vibrador Eletrodinâmico, modelo V406 M4

Com os componentes anteriormente identificados e descritos, construiu-se uma peneira, necessária para a realização das experiências de separação dos diferentes componentes das cápsulas de café.

Na figura abaixo (Figura 4.13), ilustra-se o tabuleiro base de peneira, assente em 4 molas, com as características acima descritas. Este tabuleiro foi construído para dar resposta à necessidade de experimentar diferentes tipos de malha, sendo possível alterar a rede de peneira sempre que necessário.

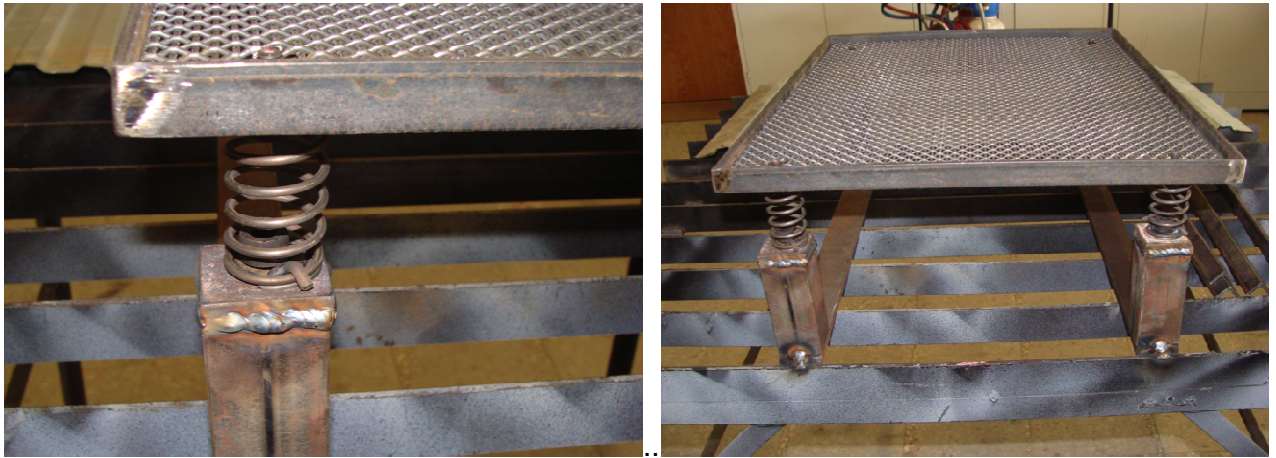


Figura 4.13 - Tabuleiro de peneira

Nas figuras seguintes (Figura 4.14 e Figura 4.15), pode-se observar de forma mais abrangente a peneira completamente montada.



Figura 4.14 - Montagem completa da peneira



Figura 4.15 - Pormenor da montagem (visualização do ponto de excitação)

Como se pode ver na Figura 4.15, o vibrador gera uma excitação pontual, num ponto localizado exatamente no centro da montagem, fazendo vibrar de forma distribuída todo o tabuleiro de peneira.

Uma vez montada a peneira experimental, elaborou-se o protocolo experimental que se apresenta em anexo (Anexo 1).

Este protocolo foi desenvolvido para assegurar que os testes a realizar, são efetuados todos nas mesmas condições e, portanto, os resultados obtidos possam ser comparáveis entre si, e conduzam a conclusões fidedignas.

Convém fazer uma nota prévia, relativa à necessidade das cápsulas não serem expostas às condições atmosféricas – chuva ou sol - durante os procedimentos de transporte e de espera para processamento.

Segundo um estudo realizado pelo IBET (Instituto de Biologia Experimental e Tecnológica, 2009), as cápsulas perdem, nas 24 horas subsequentes à sua utilização, entre 30% a 40% da sua humidade, sendo esta perda de humidade bastante vantajosa para as características de um sistema de separação a seco, como o que se pretende desenvolver.

4.4.3. Lavagem

Para a lavagem das cápsulas foram equacionadas duas alternativas distintas.

A primeira possibilidade considerada consiste na lavagem das cápsulas através de um sistema de lavagem convencional, em tudo semelhante ao de uma máquina de lavar loiça vulgar, na qual a água quente deverá alcançar todos os pontos das cápsulas através dos rotores da máquina, tendo estes como função impulsionar a água em direcção às cápsulas, girando de forma a alcançar toda a superfície de lavagem.

A segunda hipótese levantada como possível sistema de lavagem, consiste num jato de água a alta pressão que, uma vez em contacto com a borra nas cápsulas deverá, em principio, fazê-la soltar-se e portanto separar-se do plástico.

Lavagem convencional

A lavagem convencional, baseou-se na hipótese de que uma simples lavagem, com água quente, poderia servir os propósitos, ou seja, eliminar a borra residual contida nos resíduos de plásticos resultantes do processo de peneiração.

Estabelecido o princípio, iniciou-se o processo de montagem experimental. Este teria que possibilitar uma lavagem com água quente e garantir que essa mesma água chegasse a todas cápsulas.

Para a realização do procedimento experimental, adaptou-se uma máquina de lavar loiça vulgar, de pequenas dimensões.

Para a realização do teste substitui-se o carrinho da máquina de lavar, por uma malha de 4 mm para fazer escoar a água e a borra resultantes do processo de lavagem.

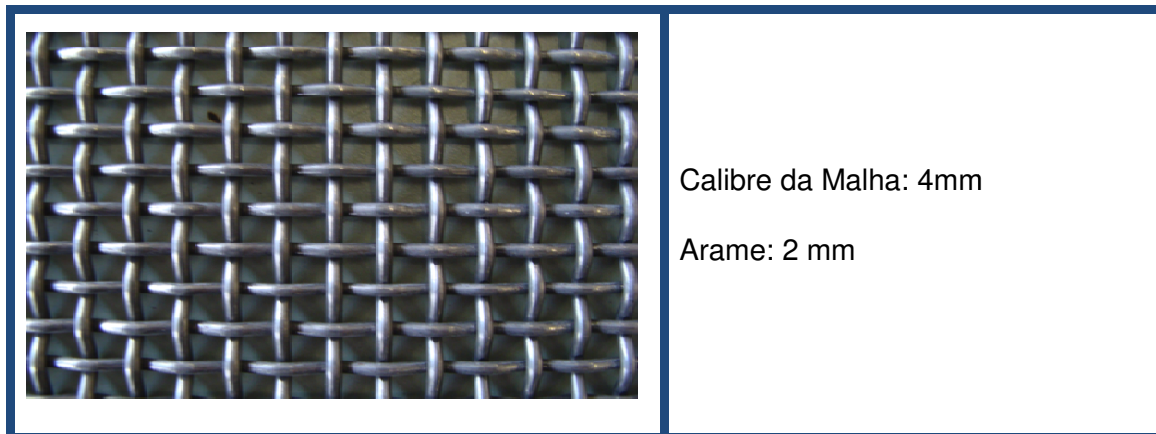


Figura 4.16 - Malha de calibre 4 mm

As figuras seguintes ilustram a máquina adaptada à realização do teste.



Figura 4.17 - Máquina de lavar convencional adaptada para a lavagem das cápsulas

O procedimento experimental para o estudo de lavagem convencional, consistiu na deposição do plástico resultante do processo de peneiração no tabuleiro, lavagem à temperatura de $\approx 55^{\circ}\text{C}$ durante 47 minutos (tempo da lavagem simples) e posterior análise ao plástico obtido através deste método de lavagem.

Lavagem com alta pressão

O sistema de lavagem de alta pressão, baseia-se na hipótese de que a melhor forma de soltar a borra residente do processo de peneiração, é a passagem com um jato de alta pressão sobre o plástico resultante da fase de separação dos elementos.

Para a realização deste estudo foram utilizados uma rede fechada com uma malha de 10 mm, e uma máquina de alta pressão.

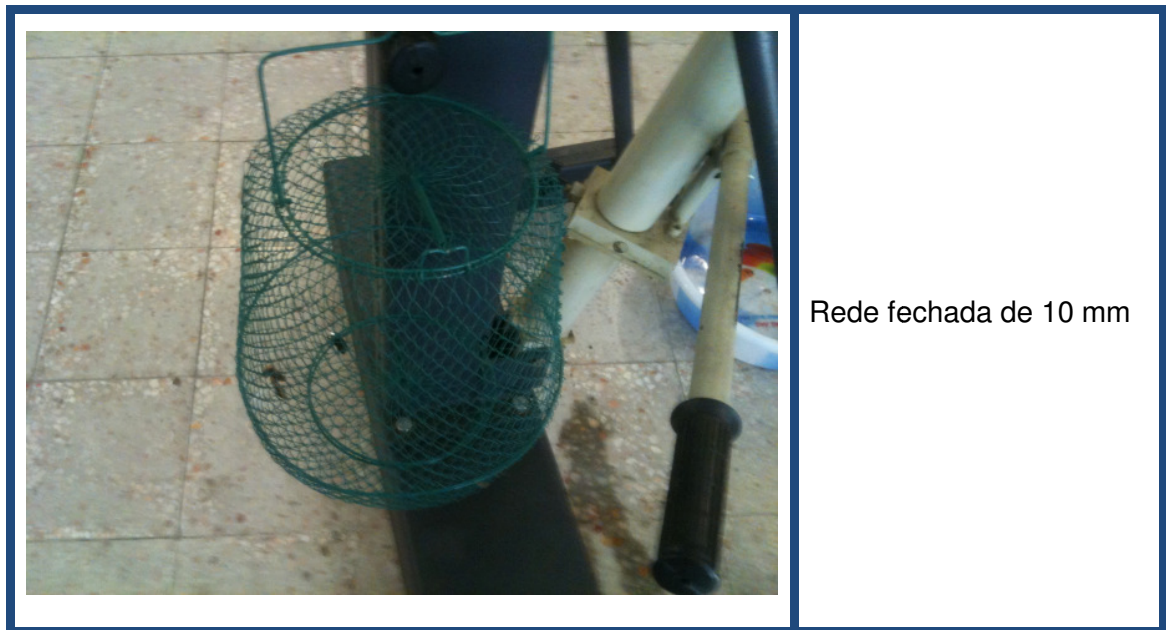


Figura 4.18 - Rede fechada para lavagem com alta pressão



Figura 4.19 - Máquina de alta pressão

O procedimento, neste caso, passou pela deposição das cápsulas provenientes do processo de peneiração, na rede fechada e fazer incidir o jato de alta pressão nas cápsulas, garantido que o jato passe em todas as cápsulas, sem exceção.

4.5. FASE 1 – DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO

Neste subcapítulo far-se-á uma apresentação dos resultados obtidos nos procedimentos explicitados no capítulo anterior. Os resultados serão, ainda, sujeitos a uma análise crítica, sendo neste espaço que se discutirá os resultados que mais se coadunam com os objetivos propostos.

A análise dos resultados será apresentada e analisada para cada uma das três fases do projeto anteriormente identificadas.

4.5.1. Desmembramento da cápsula

Para o desmembramento da cápsula apresentar-se-á os resultados obtidos pelos testes de esmagamento que, tal como referido anteriormente, foi a hipótese ponderada como alternativa ao moinho.

A comparação entre os dois métodos de desmembramento preconizados, será efetuada tendo como principal critério, as características do rebentamento da cápsula. Com isto quer-se dizer que quanto menores forem os pedaços de plástico resultantes do método de desmembramento, melhores serão os resultados obtidos na operação seguinte (separação dos constituintes).

De seguida apresentam-se as conclusões do trabalho experimental realizado para o efeito.

4.5.1.1. Moinho triturador

Uma vez que se está perante uma solução preconcebida, apenas se pode fazer uma análise ao resultado desta tal como existe, sem que se possam efetuar ajustes para, eventualmente, potenciar melhores resultados.

A intenção de realizar o desmembramento da cápsula de café é permitir a sua posterior separação da borra de café nesta contida no interior da cápsula. Uma vez que se pretende realizar, numa etapa posterior, uma peneiração por vibração, e como a borra de café apresenta sempre um teor de humidade bastante elevado, é desejável que os fragmentos resultantes do moinho sejam, tanto quanto possível, de tamanho reduzido.

O moinho constitui o elemento primário de separação, deixando para a etapa de peneiração, tanto quanto possível, a função de seleção mais fina.

Da análise dos fragmentos resultantes do desmembramento através do moinho triturador, pode-se constatar que, apesar da trituração ter sido realizada na regulação mínima de separação das mós por este permitida, existem ainda fragmentos resultantes com dimensões consideravelmente grandes, fazendo com que permaneça bastante borra de café colada aos resíduos de plástico, borra essa que dificilmente se descolará no processo de peneiração.

Este facto decorre deste moinho ter sido dimensionado para o desmembramento de cápsulas nunca utilizadas, e como tal o seu conteúdo é apenas café em pó (seco) e não borra de café, e como tal mais simples de separar. Importa também, referir que na reutilização do café não pode existir a possibilidade deste ser contaminado por fragmentos de plástico da cápsula, logo os fragmentos de plástico não podem apresentar dimensões muito reduzidas.

Como tal o moinho existente, embora sirva para a utilização proposta, tal como se encontra atualmente, se vier a ser efetivamente colocado na linha de produção de desmembramento e separação das cápsulas de café, deverá sofrer pequenos ajustes, nomeadamente conferir-lhe uma maior capacidade de aproximação das mós, de forma a minorar o número de fragmentos de dimensões excessivamente grandes.

4.5.1.2. Abertura por esmagamento

Sendo esta uma nova hipótese, surgiu a necessidade de efetuar uma montagem experimental e realizar alguns testes. Os testes realizados permitiriam constatar qual, dos dois métodos considerados, seria o mais indicado para o desmembramento da cápsula contendo borra de café..

Procedeu-se ao desenvolvimento da montagem experimental, tal como anteriormente foi descrita e realizou-se o procedimento experimental supra apresentado.

Para os dois tipos de teste realizaram-se 6 (seis) aberturas, em todas elas registando a força exercida para a concretização da abertura. No Gráfico 4.4 pode-se observar o “gráfico tipo” resultante dos testes.

Neste gráfico pode-se observar a força a crescer de forma constante, sendo este crescimento resultante da força de compressão exercida na cápsula e de forma brusca a diminuição da força exercida. Este facto indica que já se deu o rebentamento da cápsula. Assim o ponto de força máxima, indica a força necessária para o rebentamento da cápsula testada.

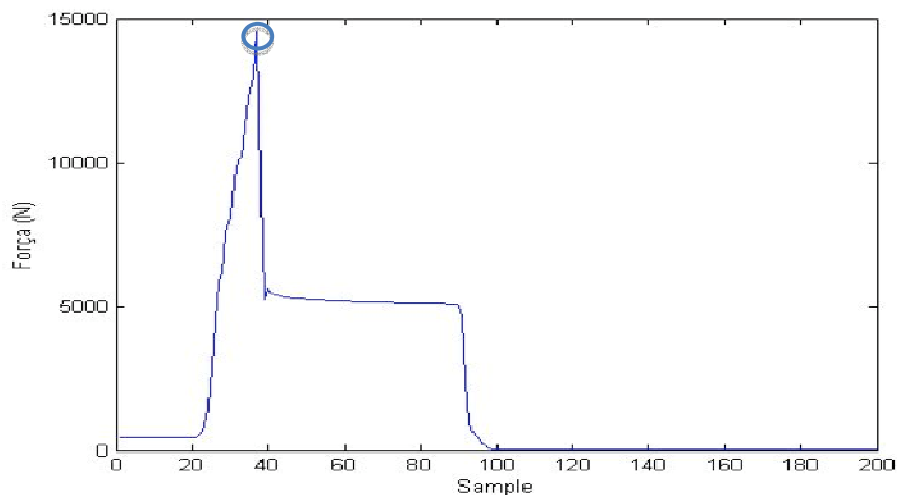


Gráfico 4.4 - Exemplo de output do software

Apresentam-se, em seguida, os resultados dos testes realizados para cada um dos tipos de abertura equacionados, nomeadamente a compressão da zona de ligação entre a base e a tampa - “testes ligação”, e a compressão na base da cápsula - “testes base”.

▪ Testes ligação

Apresentam-se na Tabela 4.1, os resultados obtidos para cada um dos “testes ligação” realizados.

Tabela 4.1 - Força máxima exercida em cada “teste ligação”

	Força máxima exercida (N)
Cápsula 1	16 081
Cápsula 2	11 401
Cápsula 3	11 404
Cápsula 4	4 115
Cápsula 5	14 258
Cápsula 6	14 531

▪ Testes base

Apresentam-se na Tabela 4.2, os resultados obtidos para cada um dos “testes base” realizados.

Tabela 4.2 - Força máxima exercida em cada “teste base”

	Força máxima exercida (N)
Cápsula 1B	7 327
Cápsula 2B	8 400
Cápsula 3B	8 088
Cápsula 4B	8 086
Cápsula 5B	8 709
Cápsula 6B	7 484

Dos resultados obtidos em cada um dos testes, pode-se aferir que, sendo o valor máximo para os “testes ligação” - 16 081 N, cerca do dobro do valor máximo registado para os “testes base” – 8 709 N, o rebentamento pela base será, em princípio, o método mais adequado para o desmembramento das cápsulas por esmagamento.

Existe, ainda, outro dado que confere vantagem à realização da força na base da cápsula. Atentando aos valores constantes nas tabelas anteriores, observa-se que exercendo a força na base, obtêm-se forças máximas sempre dentro da mesma ordem de grandeza, por contraste, quando a força é exercida na ligação, as forças necessárias para o rebentamento são bastante dispares.

Os gráficos seguintes ilustram de forma clara esta variação das forças máximas exercidas.

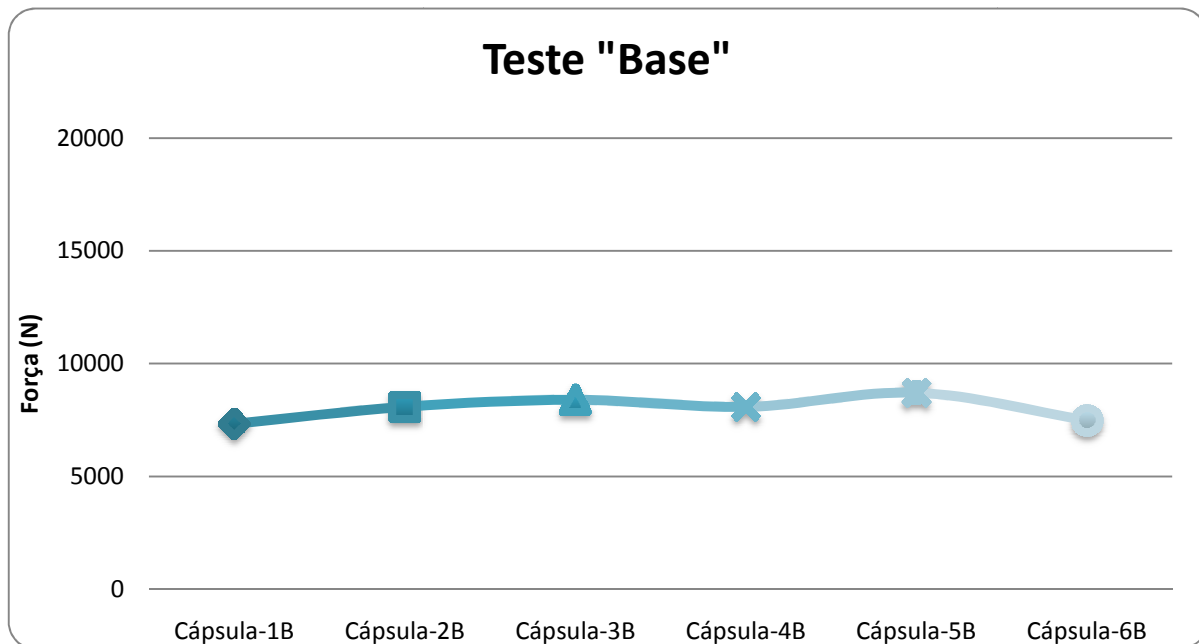


Gráfico 4.5 - Força em N para o rebentamento pela base

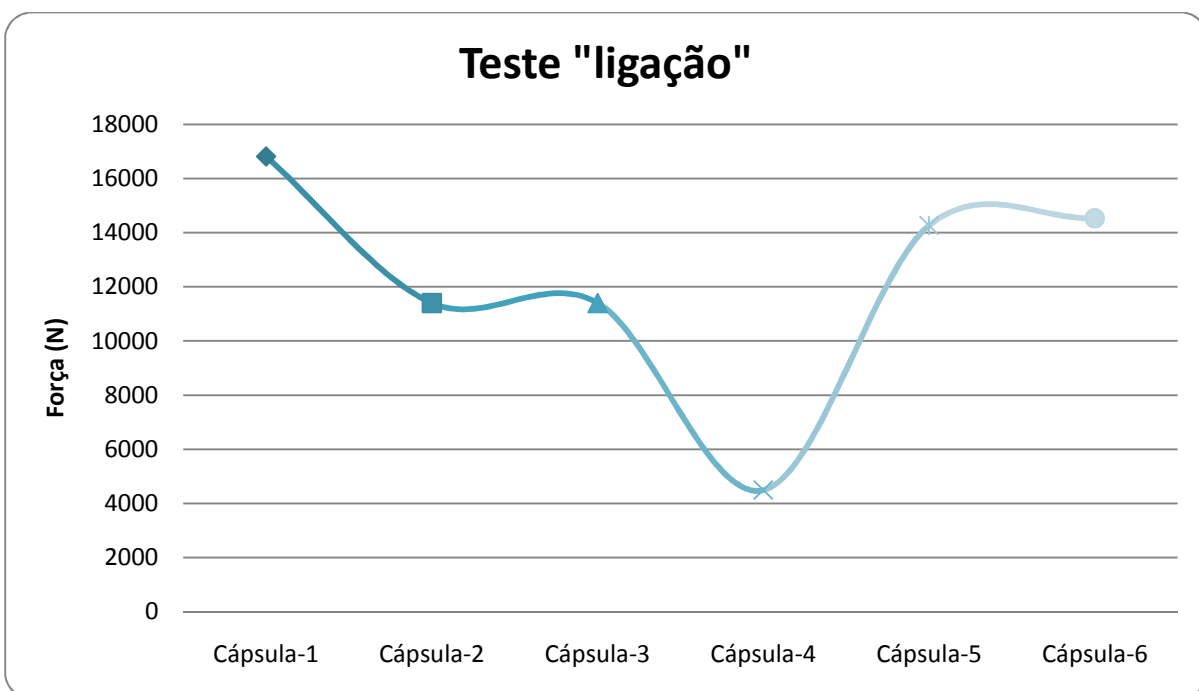


Gráfico 4.6 - Força em N para o rebentamento pela ligação

Assim, das duas possibilidades abordadas para o desmembramento por esmagamento, constata-se que a que exerce a força de esmagamento na base da cápsula é aquela que oferece maiores garantias de resultados, e portanto aquela que deverá ser admitida para este método de desmembramento das cápsulas de café – abertura por esmagamento.

4.5.1.3. Seleção do método para desmembramento

Efetuada o estudo experimental, resta a decisão sobre qual o melhor método de desmembramento das cápsulas de café a considerar para a futura linha de produção, isto é, aquele que serve melhor o propósito, garantindo maior facilidade à etapa seguinte - a etapa de separação dos elementos.

Conforme sugerido anteriormente, os fragmentos dos resíduos de plástico resultantes do método de desmembramento seleccionado devem ser, na medida do possível, pequenos e com pouca quantidade de borra colada aos mesmos.

Os resultados do trabalho prático verificados apontam, sem margem para dúvida, que o sistema utilizado na fábrica - o moinho triturador - apresenta os resultados mais satisfatórios para a utilização proposta.

As figuras seguintes (Figura 4.20 e Figura 4.21) ilustram os resultados obtidos no estado de fragmentação dos resíduos plásticos quando sujeitos a desmembramento por esmagamento e a desmembramento pelo moinho triturador.



Figura 4.20 – Cápsulas desmembradas por esmagamento



Figura 4.21 – Cápsulas desmembradas através do moinho triturador

Fica assim evidente que, para além da divisão do plástico em pequenos pedaços, a quantidade de borra de café agarrada ao plástico é muito menor no segundo caso.

Acresce, ainda, o facto do moinho não fazer distinção entre os vários tipos de cápsulas, funcionando sempre bem, desde que sejam de plástico e tenham sensivelmente as mesmas dimensões das apresentadas nas fotos anteriores e atualmente comercializadas pela Delta Cafés. No caso do desmembramento por esmagamento, a força teria de ser aplicada num ponto específico da cápsula, e portanto sempre que aparecesse uma cápsula diferente, dimensões ou material, o sistema não alcançaria os resultados desejados.

Tendo sido feita a seleção do moinho triturador como solução a adotar, por ser a que melhor desempenha a função proposta, resta referir que este pode, conforme já referido, ser melhorado, criando ao utilizador a hipótese de triturar mais a cápsula, através da aproximação das mós do moinho.

Assim todos os testes que se seguem - separação dos elementos e lavagem- são desenvolvidos com base em cápsulas trituradas no moinho existente na fábrica da Delta Cafés.

4.5.2. Separação dos componentes da cápsula

A separação dos componentes da cápsula de café é, também, uma etapa fundamental para a concretização dos objetivos definidos. Para tal, realizou-se a montagem experimental descrita no capítulo anterior, por se julgar ser essencial provar e quantificar os resultados.

Cada um dos lotes amostrais utilizados veio diretamente das instalações da fábrica onde se encontra atualmente o moinho. Desta forma, foi possível garantir que as cápsulas, após trituradas, não foram mais expostas às condições atmosféricas, tentando, assim, reproduzir, a realidade do futuro sistema de separação, na qual as cápsulas sairão diretamente do moinho alimentando a peneira, trabalhando em fluxo contínuo, sem esperas.

Na Tabela 4.3 explicita-se os resultados obtidos em conformidade com o exposto no protocolo experimental (Anexo 1).

Tabela 4.3 – Resultados experimentais dos testes de separação

Teste	Tipo	m_i (g)	t_c (seg)	t_{1c} (seg)	m_{ac} (g)	$m_{p\%}$	$m_{1p\%}$	t_{2c}	$m_{2p\%}$	BC (g)
1	i	2368	40	---	1096	0,23	---	---	---	1272
2	i	2118	42	---	1012	0,32	---	---	---	1106
3	i	1946	37	---	842	0,21	---	---	---	1104
4	i	1899	30	---	913	0,15	---	---	---	986
5	ii	1992	---	30	998	---	0,77 %	20	0,23 %	994
6	ii	2070	---	35	933	---	0,78 %	15	0,18 %	1137
7	ii	2620	---	45	1178	---	0,83 %	20	0,21 %	1442
8	ii	2240	---	30	967	---	0,56 %	20	0,10 %	1273
9	i	2420	55	---	1206	0,50	---	---	---	1214
10	i	1923	30	---	1022	0,09	---	---	---	901
11	i	2251	44	---	1015	0,11	---	---	---	1236
12	i	2279	35	---	892	0,23	---	---	---	1387
13	ii	2150	---	40	1121	---	0,47 %	15	0,12 %	1256
14	ii	2245	---	45	1037	---	0,53 %	20	0,15 %	1208
15	ii	2532	---	35	1231	---	0,45 %	15	0,23 %	1301
16	ii	2336	---	45	1246	---	0,37 %	15	0,13 %	1090

LEGENDA DO QUADRO:

m_i – Massa inicial da mistura a separar

t_c – Tempo de crivagem ou de peneira (testes do tipo i)

t_{1c} – Tempo de 1ª crivagem ou peneira (testes do tipo ii)

t_{2c} – Tempo de 2ª crivagem ou peneira (testes do tipo ii)

m_{ac} – Massa após crivagem ou peneira

$m_{p\%}$ - % de contaminação em plástico da borra crivada

$m_{1p\%}$ - % de contaminação em plástico após 1ª crivagem

$m_{2p\%}$ - % de contaminação em plástico após 2ª crivagem

BC – Borra crivada

Dos valores constantes na Tabela 4.3, podemos tirar várias conclusões.

Para facilitar a tarefa de análise far-se-á em seguida, e em separado, a discussão para os dois tipos de teste realizados (tipo i e tipo ii).

Tipo i

Os testes do tipo i consistiram, essencialmente, na colocação direta, em rede de malha pequena (MP), das cápsulas de café previamente moídas.

Este sistema apresenta como vantagem uma maior simplicidade conceptual, uma vez que as cápsulas apenas necessitam de passar por um único estágio na peneira. Poderá ter como desvantagem, dado a malha ser mais pequena, um menor aproveitamento da borra de café, uma vez que esta malha limita a passagem de borra.

Uma das análises a fazer a este teste passa por saber se, o aumento do tempo que as cápsulas permanecem na peneira aumenta a quantidade de borra de café obtida.

Retirando os valores da Tabela 4.3, obtém-se:

Tabela 4.4 – Percentagem de borra obtida da amostra em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo i

Tempo de Peneiração (t_c – seg)	%Borra obtida (BC/ m_i)
30	51,92%
30	46,85%
35	60,86%
37	56,73%
40	53,72%
42	52,22%
44	54,91%
55	50,17%

Na tabela anterior (Tabela 4.4), ilustrada no Gráfico 4.7, nada parece indicar que um aumento do tempo no tabuleiro de peneira aumente a quantidade de borra de café obtida através de peneiração. Contudo o tempo não deverá ser inferior a 30 s, pois este é o tempo mínimo observado para pelo menos metade da borra de café, contida nas cápsulas, conseguir passar na malha da peneira.

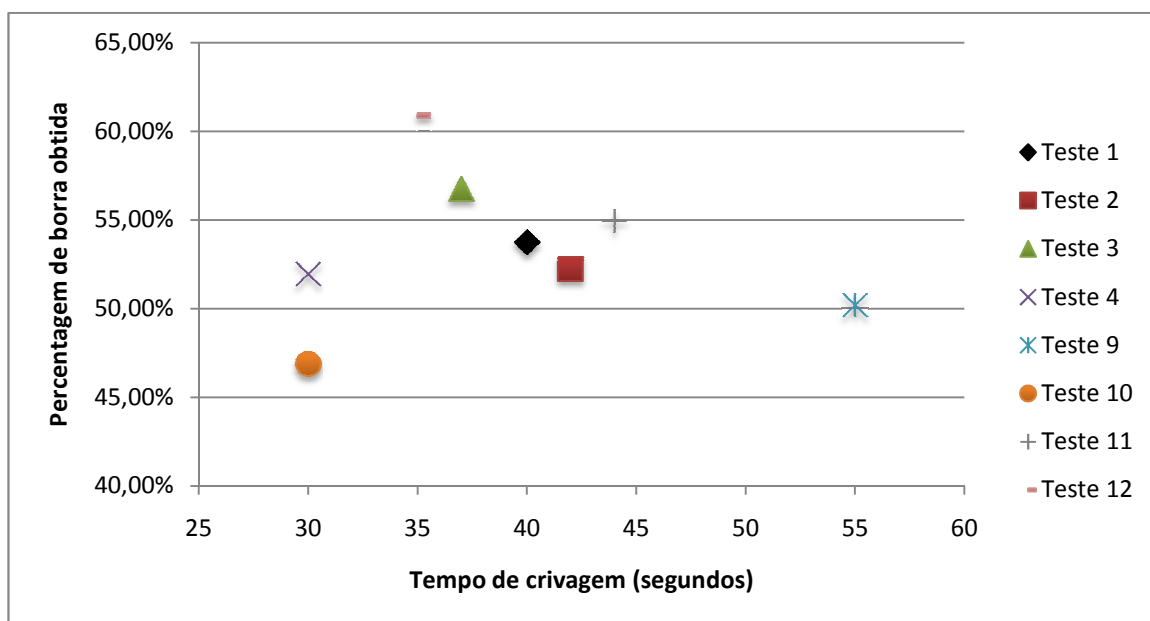


Gráfico 4.7 - Percentagem de borra obtida nos testes de tipo i

Contudo, existe a possibilidade de que o aumento do tempo que as cápsulas permanecem a ser peneiradas, tenha influência no grau de contaminação da borra de café, isto é, a possibilidade de passar maior quantidade de plástico pela malha da peneira, contaminando-o.

Na tabela seguinte, observa-se a comparação entre o tempo de peneiração (t_c) e o grau de contaminação ($m_{p\%}$) obtidos neste estudo.

Tabela 4.5 – Grau de contaminação da borra por plástico em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo i

Tempo de Peneiração (t_c – seg)	Grau de contaminação ($m_{p\%}$)
30	0,15 %
30	0,09 %
35	0,23 %
37	0,21 %
40	0,23 %
42	0,32 %
44	0,11 %
55	0,50 %

Neste caso, já é possível verificar uma tendência, para poder afirmar que o aumento o tempo de peneiração poderá influir no grau de contaminação presente na borra de café. Este facto nota-se, aliás, à vista desarmada. A partir dos 30-35 s de permanência na peneira constata-se que existem várias partículas de plástico a passarem pelas malhas da peneira. O gráfico seguinte ilustra esta realidade.

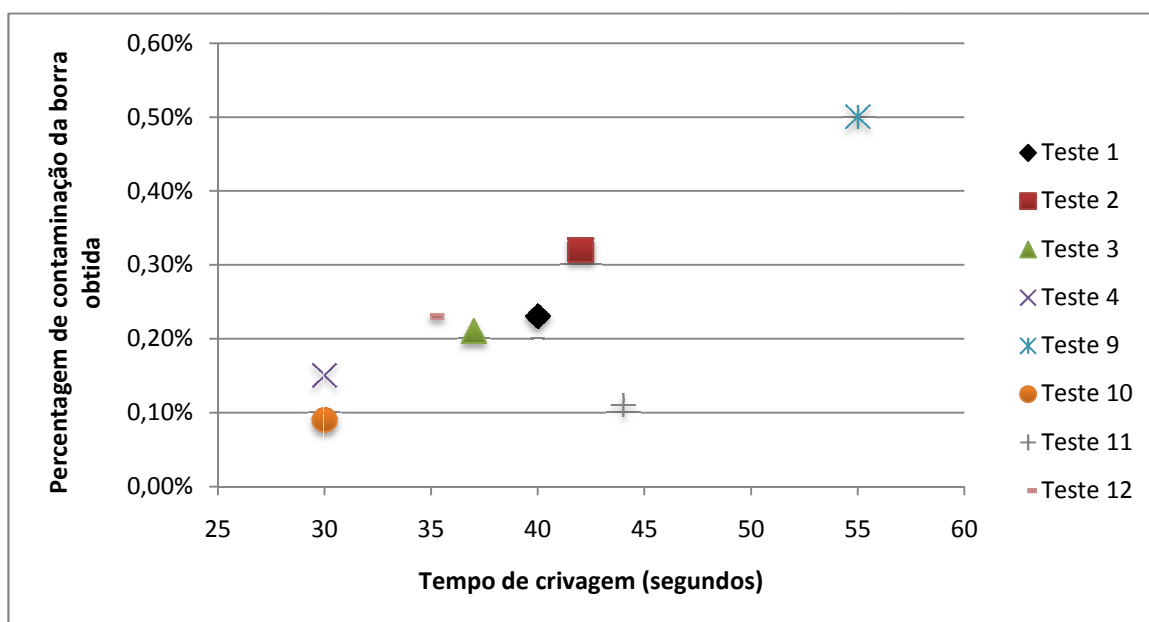


Gráfico 4.8 - Contaminação da borra obtida nos testes de tipo i

Assim, e fazendo a média dos vários graus de contaminação acima expostos, temos uma contaminação média para o tipo i de 0,23%.

Tipo ii

Os testes do tipo ii consistiram, essencialmente, na colocação das cápsulas de café previamente moídas, num primeiro estágio - em rede de malha grande (MG) - e de seguida, num segundo estágio - em rede de malha pequena (MP), para filtrar a contaminação que uma rede com malha maior deixa necessariamente passar.

Este teste, permite-nos tirar conclusões sobre mais duas possibilidades de peneira, uma peneira em que, à semelhança do Tipo i, funcionará apenas com um estágio, desta vez em MG, ou uma peneira com um funcionamento em dois estágios (MG + MP).

À semelhança da análise feita para os testes do Tipo i, far-se-á uma comparação da quantidade de borra obtida em relação ao tempo de permanência na peneira. A Tabela 4.6 sumaria os resultados obtidos.

Tabela 4.6 - Percentagem de borra obtida da amostra em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo ii

Tempo de Peneiração (t_c – seg)	%Borra obtida (BC/ m_{ii})
30	49,90%
30	56,83%
35	54,93%
35	51,38%
40	58,42%
45	46,66%
45	55,04%
45	53,81%

Mais uma vez, nada sugere que o aumento do tempo no tabuleiro de peneira aumente a quantidade de borra de café obtida através de peneiração tal como ilustrado no gráfico 4.9.

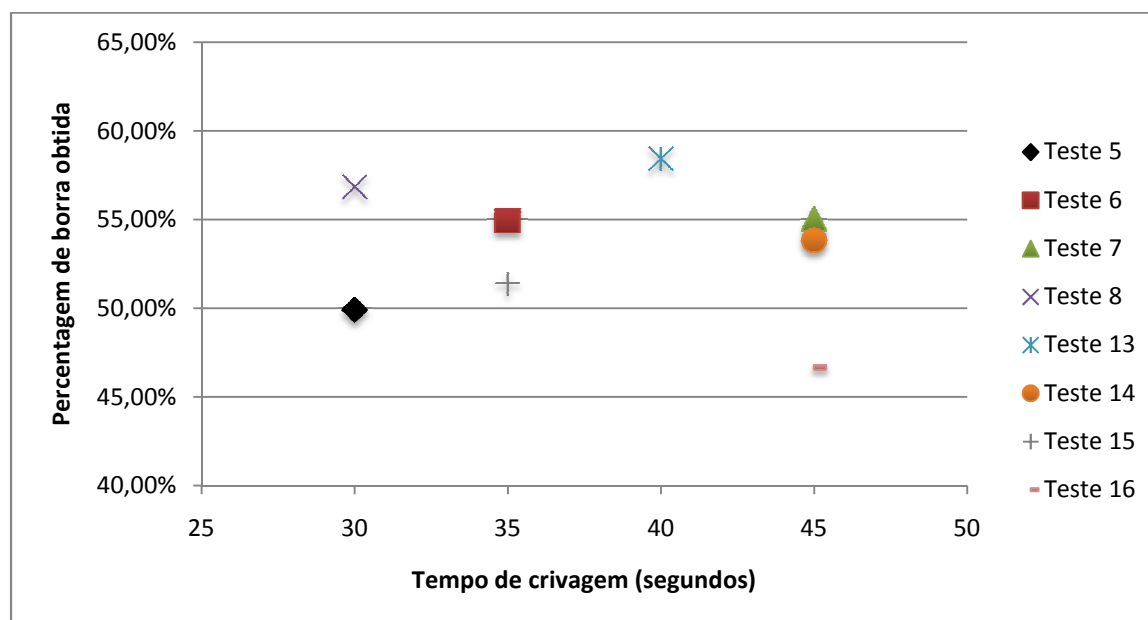


Gráfico 4.9 - Percentagem de borra obtida nos testes de tipo ii

Uma das hipóteses levantadas era a possibilidade da Malha Grande maximizar a quantidade de borra obtida pela peneira. Esta hipótese veio revelar-se infundada pela observação da

tabela anterior em comparação com a Tabela 4.4, já que as percentagens de borra de café recuperada pela peneira apresentam-se bastante semelhantes para os dois tipos de malha.

Continuando com a mesma linha de análise efetuada para o teste do tipo i, far-se-á agora o teste para aferir se um maior tempo de permanência na peneira aumenta o grau de contaminação presente na borra de café.

A Tabela 4.7 e o Gráfico 4.10, evidenciam esta comparação.

Tabela 4.7 - Grau de contaminação da borra por plástico em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo ii com apenas um estágio em MG

Tempo de Peneiração (t_c – seg)	Grau de contaminação
30	0,77 %
30	0,56 %
35	0,78 %
35	0,45 %
40	0,47 %
45	0,37 %
45	0,83 %
45	0,53 %

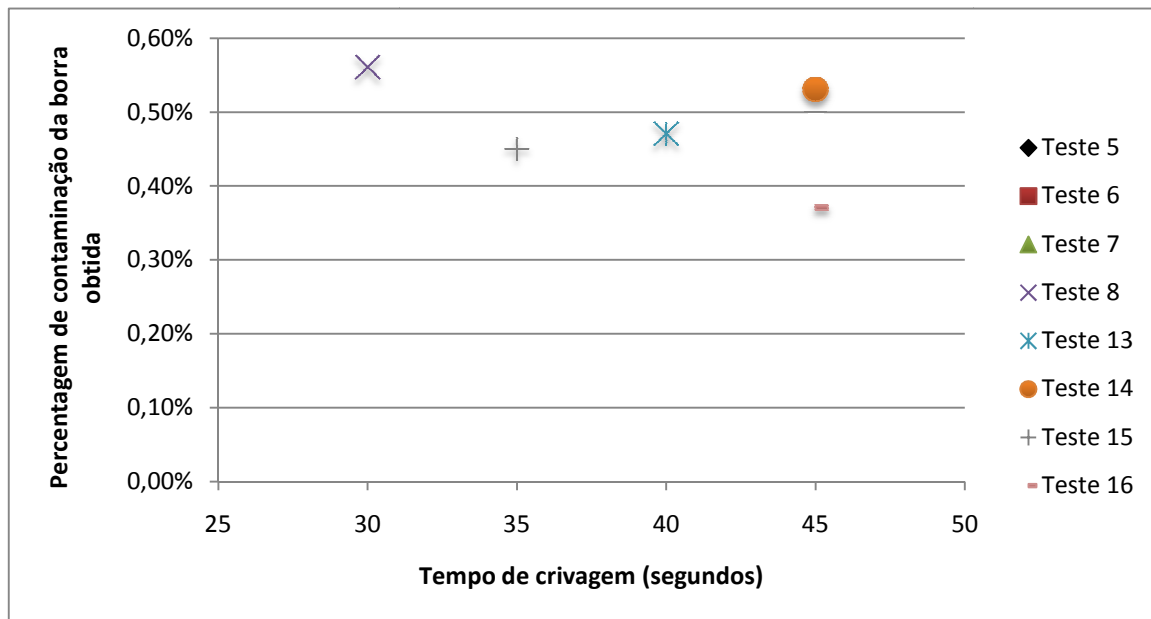


Gráfico 4.10 - Grau de contaminação da borra por plástico em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo ii com um estágio em malha grande

Neste caso torna-se mais difícil de confirmar a hipótese levantada na análise aos testes do tipo i, não se notando um padrão claro de crescimento da contaminação com o aumento do tempo de permanência, registrando-se, pelo contrário, uma pequena diminuição.

Contudo, vê-se claramente uma maior contaminação da borra (0,6 %) quando utilizada malha grande em detrimento da malha pequena. Este problema relacionado com o uso da malha grande, só poderá ser colmatado através da adoção de uma malha pequena num segundo estágio, conforme exposto em seguida.

Tabela 4.8 – Grau de contaminação da borra por plástico em relação ao tempo de peneiração no teste do Tipo ii com 2 estágios (MG+MP)

Tempo de peneiração (t_c – seg)	Grau de contaminação
30	0,23 %
30	0,10 %
35	0,18 %
35	0,23 %
40	0,12 %
45	0,13 %
45	0,21 %
45	0,15 %

De facto com a utilização da malha pequena num segundo estágio, poder-se-á minorar esta contaminação, passando esta para apenas cerca de 0,17 %.

Tentou-se a partir do exposto, explorar as melhores soluções para o desenvolvimento de uma peneira vibratória com vista à separação das borras de café dos resíduos de plástico.

Das três soluções estudadas podem-se retirar as seguintes conclusões:

Utilização apenas de MP – Com um grau de contaminação médio de cerca de 0,23 % esta solução não fica em primeiro lugar no que respeita ao objetivo de atingir a menor contaminação possível, mas garante condições de aproveitamento de borra semelhantes à MG e deverá, em princípio, ter uma construção mais simples;

Utilização apenas de MG – A hipótese levantada veio a revelar-se infundada, uma vez que a existência de uma MG não maximiza a quantidade de borra que se consegue obter com a peneira, e como tal, sendo esta a solução que apresenta maiores níveis de contaminação da borra, fica excluída como possibilidade;

Utilização de um estágio em MG seguido de um segundo estágio em MP – Este método, mostra ser aquele que consegue obter melhores níveis de contaminação da borra de café, mas obriga a dois estágios de separação, impondo alguma complexidade adicional.

Assim, a escolha do melhor processo de separação poderá depender de vários fatores, mas sem dúvida o principal será mesmo a utilização proposta para a borra de café resultante da separação.

Uma colaboração pedida ao IBET, para tentar perceber se os níveis de contaminação da borra de café com plástico obtidos seriam impeditivos para os possíveis fins a que esta se destina, mostrou que estes não deverão interferir com as soluções estudadas, que passa pela valorização orgânica deste resíduo.

Ainda como forma de confirmar os resultados anteriormente obtidos, realizou-se mais seis testes de separação, tendo sido utilizadas cápsulas expostas às condições atmosféricas, nomeadamente temperatura, tendo perdido toda a humidade residual, ainda contida na borra, encontrando-se a borra de café totalmente seca e portanto pétrea.

Ao realizar-se estes testes, pretende-se confirmar se o sistema de peneira por vibração resulta de igual forma, mesmo que as condições estabelecidas - cápsulas não expostas às condições atmosféricas - não se verifiquem.

É de salientar que, embora os resultados não sejam iguais, pois a análise às amostras é feita pela sua massa, como tal estando a borra de café mais seca, esta representa em termos mássicos uma ponderação menor no peso total da amostra (uma vez que o peso do plástico será, em princípio, o mesmo), estes são relevantes para confirmar a versatilidade da solução industrial escolhida, provando que mesmo que as condições predefinidas não se verifiquem, os resultados desejados se mantenham, ou seja, que se continue a obter a borra de café com teores de contaminação, em plástico, baixos.

A metodologia escolhida para a separação foi a de dois estágios de peneiração (por se ter revelado anteriormente a mais promissora), em que as cápsulas com borra de café, previamente trituradas, são sujeitas à peneira durante um determinado tempo predefinido, sendo a borra resultante sujeita a um segundo estágio reduzindo, dessa forma, os níveis de contaminação.

Na Tabela 4.9 são explicitados os resultados obtidos, para a quantidade de borra obtida para a peneiração durante respetivamente 30 s, 35 s e 40 s, tempos que já anteriormente se tinha entendido serem os mais indicados para a correta separação dos elementos.

Tabela 4.9 - % de Borra obtida para diferentes intervalos de tempo de permanência na peneira

	Tempo de Peneiração (t_c – seg)	% de Borra Obtida
Teste 1	30	18,0%
Teste 2	30	26,1%
Teste 3	35	25,6%
Teste 4	35	16,1%
Teste 5	40	16,5%
Teste 6	40	51,6%

Mais uma vez, não se encontra uma nítida vantagem em aumentar o tempo de permanência na peneira, já que o aumento deste tempo não evidencia qualquer aumento na quantidade de borra obtida. Exceção feita pelo resultado obtido no Teste 6 em que, pela sua evidente disparidade dos restantes resultados, facilmente se conclui que a amostra utilizada para a realização deste teste, provavelmente conteria uma quantidade inicial de borra de café significativamente maior do que as restantes amostras.

O gráfico seguinte ilustra os resultados obtidos, excluindo desde logo o valor referente ao Teste 6.

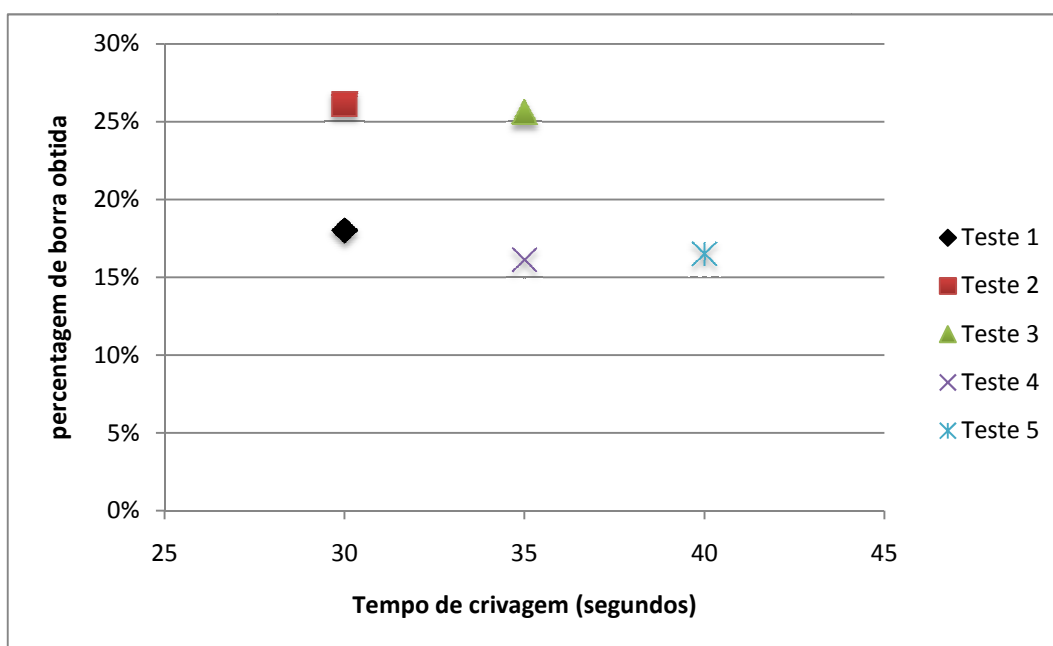


Gráfico 4.11 - % de borra obtida Vs Tempo de permanência na peneira

Como se pode observar no gráfico anterior, tendo excluído o valor referente ao Teste 6, denota-se uma grande constância na quantidade de borra obtida em cada um dos lotes amostrais, na ordem dos 15% a 20 %.

Numa primeira análise, pode-se julgar a quantidade de borra obtida, muito menor que a borra obtida nos últimos testes, que tiveram valores na ordem dos 50%, mas considerando que a borra utilizada estava seca, faz com que para o mesmo volume, a borra pese menos, ou seja o plástico tem maior percentagem mássica.

Importa agora, à semelhança do que foi feito anteriormente, fazer uma análise à contaminação da borra obtida.

Uma vez mais, esta análise é feita, retirando a 100 g da borra obtida todo o plástico presente nesta, ou seja, é uma análise da massa em plástico, importa referir que, dado que a borra dos lotes estudados está particularmente seca, a massa de plástico presente vai ser comparativamente aos testes anteriores significativamente maior. Mesmo assim permite tirar algumas conclusões, especialmente no que se refere à maior contaminação da borra obtida consoante o tempo de permanência em peneiração.

A Tabela 4.10, e o Gráfico 4.12, explicitam esta comparação entre o tempo de permanência em peneiração, e a contaminação da borra que daí advém.

Tabela 4.10 - % de contaminação na borra obtida para diferentes intervalos de tempo de permanência na peneira

	Tempo de Peneiração (t_c – seg)	Contaminação da borra obtida
Teste 1	30	1,0 %
Teste 2	30	0,7 %
Teste 3	35	1,1 %
Teste 4	35	0,9 %
Teste 5	40	1,4 %
Teste 6	40	3,2 %

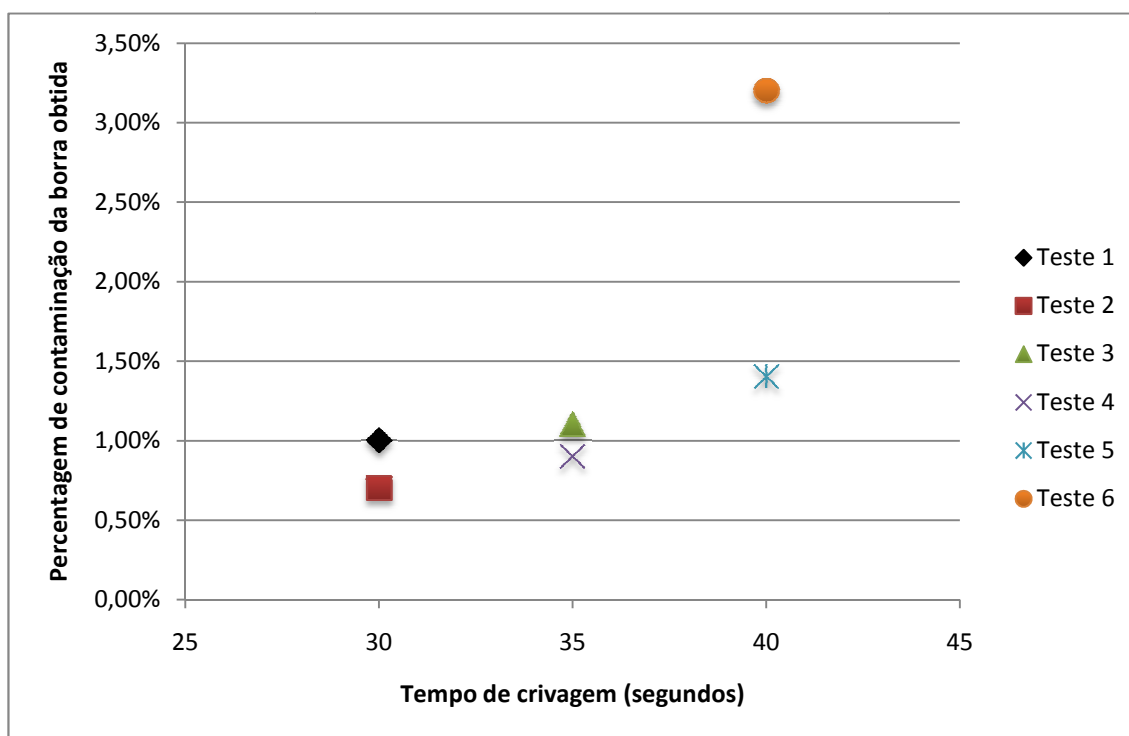


Gráfico 4.12 - Contaminação da borra obtida Vs Tempo de permanência na peneira

Como facilmente é visível no gráfico anterior, a contaminação de plástico na borra é consistentemente mais alta, quanto maior for o tempo de peneiração efetuado.

Assim, à semelhança das conclusões obtidas nos testes anteriores, o tempo de permanência na peneira não deve exceder os 30 s, pois não existirá vantagem na maior obtenção de borra, mas sim uma maior contaminação da mesma.

4.5.3. Lavagem

Foram efetuados testes e analisados os resultados de cada um dos sistemas de lavagem equacionados como possibilidade para atingir os fins que se pretendia.

Desta forma foi possível concluir quanto ao sistema de lavagem ideal, contando que o objetivo final seria tanto quanto possível, a não existência de borra no plástico resultante do processo de separação.

Assim, de seguida, serão ilustrados os resultados que levaram à tomada de decisão do processo de lavagem a propor.

Lavagem convencional

Tal como ilustrado anteriormente, foi efetuada uma adaptação de uma máquina de lavar loiça convencional, esperando que os rotores, fizessem chegar a água quente em pressão suficiente, que permitisse uma correta lavagem das cápsulas resultantes do processo de peneiração.

As imagens seguintes ilustram alguns dos problemas que surgiram deste método de lavagem.



Figura 4.22 – Aspeto geral do plástico resultante da lavagem convencional

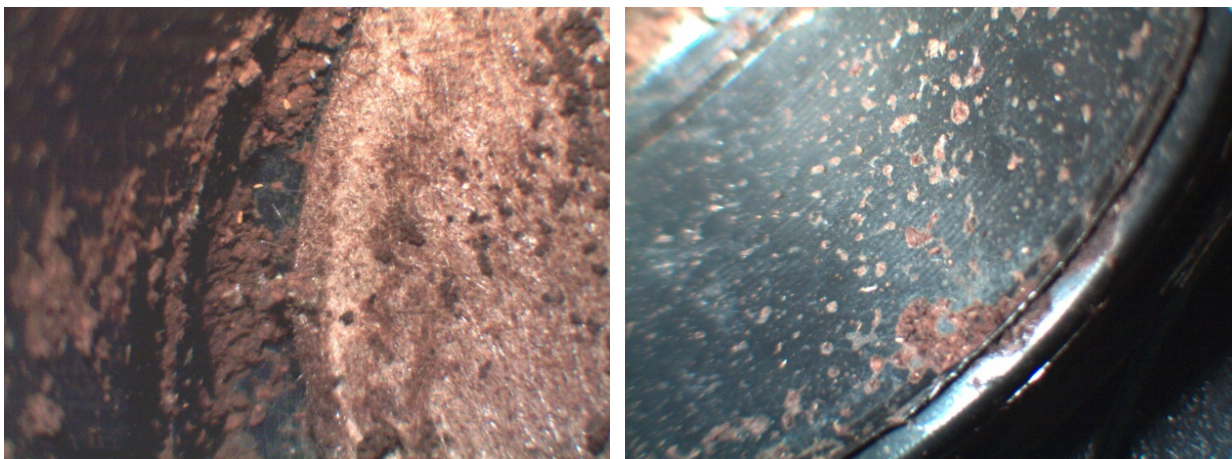


Figura 4.23 – Pormenor da tampa de uma cápsulas

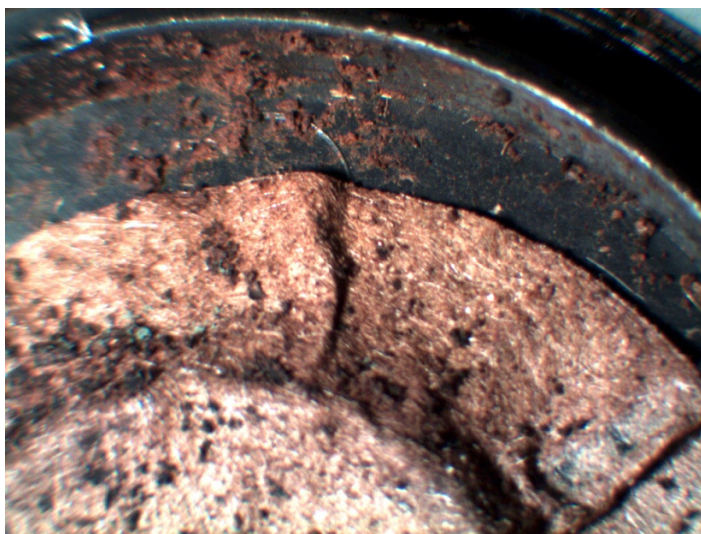


Figura 4.24 – Borra seca colada ao plástico

Os testes realizados, vieram a mostrar que esta hipótese não é eficaz. A borra mais seca, não consegue descolar do plástico, ficando este sempre com uma borra residual considerável, mesmo após a lavagem.

Lavagem com alta pressão

A lavagem com alta pressão, efetivamente mostrou resultados bastante satisfatórios, no que se refere à qualidade de lavagem do plástico.

De facto, a alta pressão, uma vez direcionada, chegando a todas as cápsulas, tem uma forte capacidade de descolar a borra de café agarrada às superfícies dos resíduos de plástico.

As imagens seguintes mostram alguns dos resultados que surgiram deste método de lavagem.



Figura 4.25 – Aspeto geral das cápsulas resultantes da lavagem com alta pressão

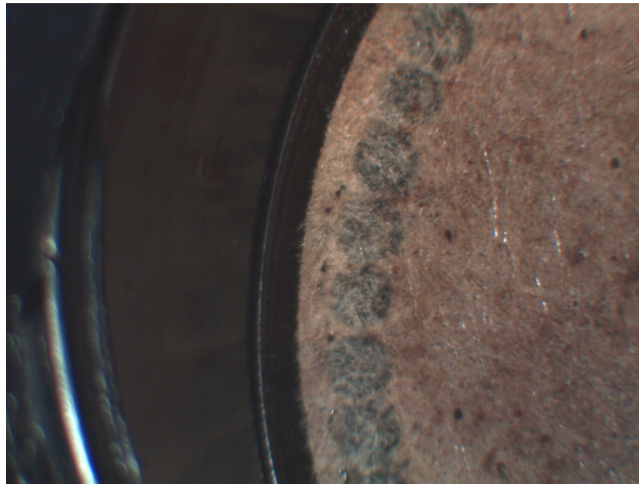


Figura 4.26 – Vista ampliada de uma cápsula sujeita a lavagem de alta pressão

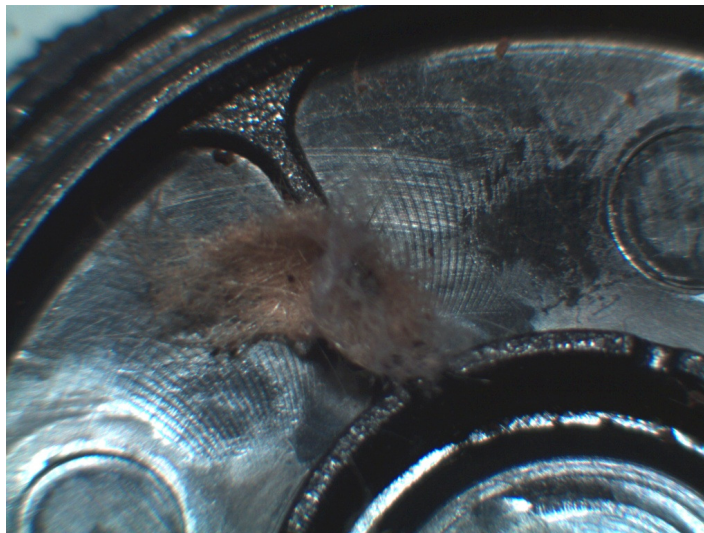


Figura 4.27 – Pormenor de uma tampa lavada com alta pressão

O tempo de lavagem efetuado - 5 minutos - tem a ver com o facto do sistema testado ser completamente manual, e portanto da necessidade de garantir que se chegue a todos os pontos podendo, à escala industrial, este tempo ser reduzido providenciando esta garantia.

Seleção do método de lavagem

Os resultados obtidos na lavagem com água a alta de pressão, cumprem amplamente os objetivos propostos, uma vez que removem a borra de café que continua aderente após o processo de peneiração.

Apesar dos resultados promissores, existem ainda alguns problemas que importa referir. Com efeito, algumas cápsulas provenientes do moinho saem fora do padrão normal, ficando praticamente inteiras e fechadas retendo a borra no seu interior, como se mostra na Figura 4.28. Esta situação deve-se ao facto do moinho existente ter uma passagem demasiado larga, provocando um risco de contaminação do plástico recuperado com borra.



Figura 4.28 – Cápsulas deficientemente abertas pelo moinho

Será, então, necessário a utilização de um moinho com características próprias para triturar as cápsulas já utilizadas. Em todo o caso, e como a utilização do moinho existente foi a título experimental, para a solução definitiva a implantar deverá realizar-se a reformulação, em sede de mós trituradoras, do projeto existente.

Relativamente à remoção dos filtros e da película de fecho, não se encontra qualquer possibilidade de uma solução mecânica, apenas uma remoção manual, uma vez que o filtro encontra-se soldado ao plástico, o que estabelece uma forte ligação (Figura 4.29). Mesmo sendo evidente que há partes desse filtro, que na lavagem a alta pressão, são destruídas, o facto é que na vizinhança da solda ele resiste, deixando resíduos, como se mostra na Figura 4.27. Por seu turno, a película da tampa sendo também soldada, fica com muitas partes aderentes ao plástico. Não obstante alguns pedaços da película ficarem soltos, a sua separação por via da vibração e da lavagem com pressão não se revelou viável uma vez que não existe uma diferença significativa na sua densidade relativamente à do plástico.

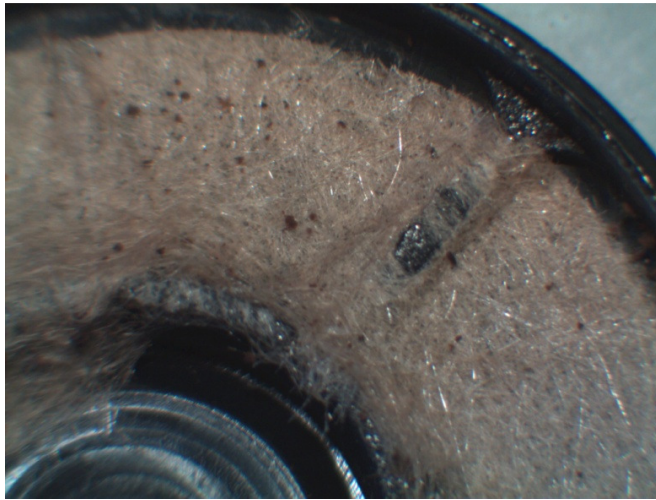


Figura 4.29 – Pormenor da soldadura do filtro após a lavagem

4.6. FASE 2 – DESENHO DE SISTEMAS

Tendo os resultados dos procedimentos laboratoriais anteriormente descritos, resta descrever o processo industrial, oferecendo especificações que levarão, numa etapa subsequente, ao desenho detalhado de cada uma das partes agora especificadas.

Assim, dedica-se este capítulo, à sistematização dos resultados obtidos, e à criação de especificações que deverão ser levadas em conta na altura de desenvolver um projeto final dos vários componentes envolvidos neste sistema.

4.6.1. Desmembramento das cápsulas

Tal como referido, a escolha do sistema mais adequado para o desmembramento das cápsulas plásticas de café recaiu sobre o moinho existente na empresa nas instalações do produtor.

Este de facto conduziu a resultados muito satisfatórios, especialmente se considerarmos o sistema como um todo e que não basta abrir as cápsulas, mas também é necessário conseguir obter a borra de café nelas contida.

Como tal, deixa-se apenas a nota, para uma possível melhoria da operação unitária de desmembramento. De forma a reutilizar o moinho existente na fábrica da Delta Cafés, este deverá ter uma maior possibilidade de regulação das mós, permitindo a obtenção de fragmentos de plástico com menores dimensões, já que atualmente verificou-se que

permanecem cápsulas deficientemente trituradas, dificultando o processo seguinte, ou seja, a separação dos elementos.

Na figura seguinte apresentam-se os desenhos técnicos do moinho existente e disponibilizados pela Delta Cafés, e que mostram as dimensões do moinho desenvolvido, tendo este 2 865 mm de comprimento e 2 134 mm de largura.

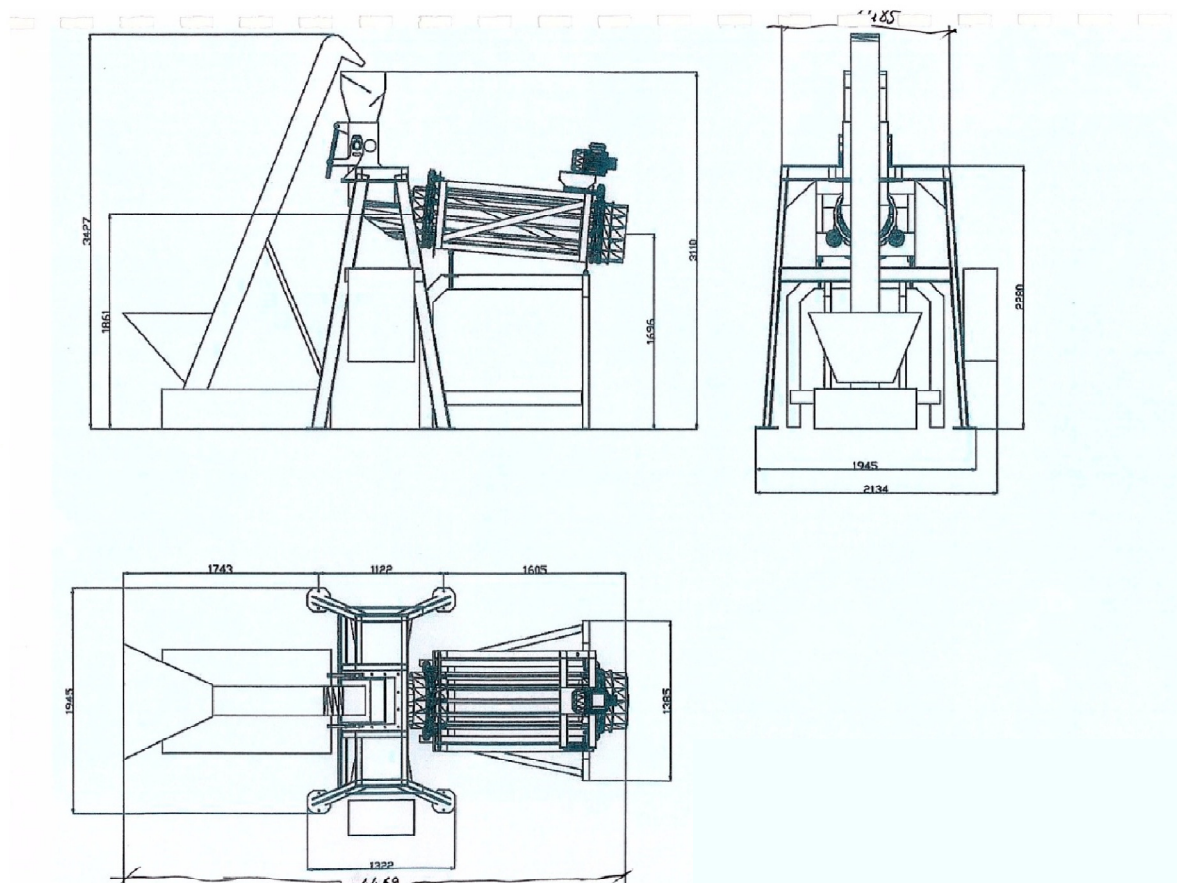


Figura 4.30 – Desenhos técnicos do moinho triturador de cápsulas

Por informação dada pelo produtor, sabe-se que o moinho triturador existente tem a capacidade de processar cerca de 10 kg de cápsulas de café por minuto sendo, então, para esse valor de *Through Put* que irá ser dimensionado todo o sistema de desencapsulamento.

4.6.2. Separação dos elementos

As peneiras que serviram de base ao trabalho experimental foram dimensionadas com uma área de 600x400 mm², sendo a carga de cada carregamento de 2 Kg. Também constituiu um objetivo a determinação do tempo de permanência da massa na peneira. Assim, o tempo ideal foi determinado em cerca de 30 a 35 s, a partir do qual poderá existir uma maior contaminação de plástico na borra de café obtida, sem existir um particular acréscimo na quantidade desta. A Tabela 4.11 sumaria estes resultados.

Tabela 4.11 - Características para a peneira experimental

Dimensões da peneira experimental	600x400 mm
Massa de Borra + plástico de cada carga	2 kg
Tempo ideal de peneiração	30-35 s
Grau de contaminação da borra obtida	0,17%

Como se pode verificar, estes resultados são muito positivos conduzindo a valores muito pequenos de contaminação, particularmente quando se considera a sequência dos dois estágios de peneiração.

Assim, a peneira a implementar na linha de produção final deverá ser constituída por dois estágios de peneiração. O primeiro estágio deverá ser constituído por uma malha de 4 mm, com uma inclinação adequada que permita a permanência da massa de resíduos na peneira entre 30 a 35 s. O material que passa nesta malha contém, ainda, fragmentos de resíduos de plástico de menores dimensões, que serão posteriormente separados na malha de 3 mm do segundo estágio.

Do estudo realizado, outros dados relevantes foram obtidos. A tabela seguinte expõe estes dados, por se considerarem de suma importância no decorrer do trabalho.

Resumo das Especificações da Peneira

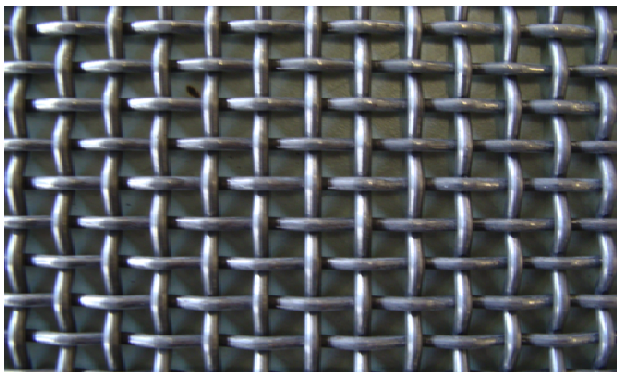
1º Estágio	
	<p>Calibre da Malha: 4mm</p> <p>Arame: 2 mm</p>

Figura 4.31 – Rede com malha de 4 mm (malha grande)

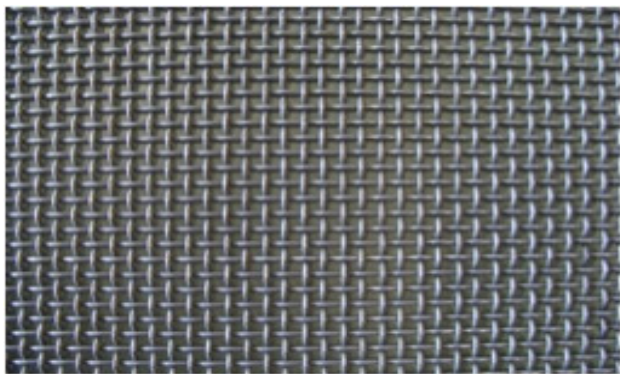
2º Estágio	
<p>Calibre da Malha: 3mm</p> <p>Arame: 1,6 mm</p>	

Figura 4.32 – Rede com malha de 3 mm (malha pequena)

Sabendo que o caudal do moinho triturador é cerca de 10 kg/min, e tendo em conta os resultados obtidos na fase experimental, a área do tabuleiro de peneira necessária para garantir este caudal deverá ser de 0,6 m². Ora, tendo em atenção que, para a peneira se ajustar ao atual triturador, a sua largura deverá ser de 500 mm (>400mm da boca do triturador) resulta um comprimento de cerca de 1 200 mm.

Na tabela abaixo apresenta-se um resumo das características gerais da peneira vibratória.

Tabela 4.12 - Especificações para a peneira à escala industrial

Dimensões do tabuleiro de peneira	500x1 200 mm
Área	0,6 m ²
Caudal	10 kg/min
Malha 1ºEstágio	4 mm
Malha 2ºEstágio	3 mm

A massa excêntrica de excitação, a sua frequência de rotação e as molas de suporte deverão ser ajustadas para que o sistema vibre próximo da frequência de ressonância do conjunto.

Com os desenhos abaixo, explicita-se as conclusões obtidas para as especificações da peneira.

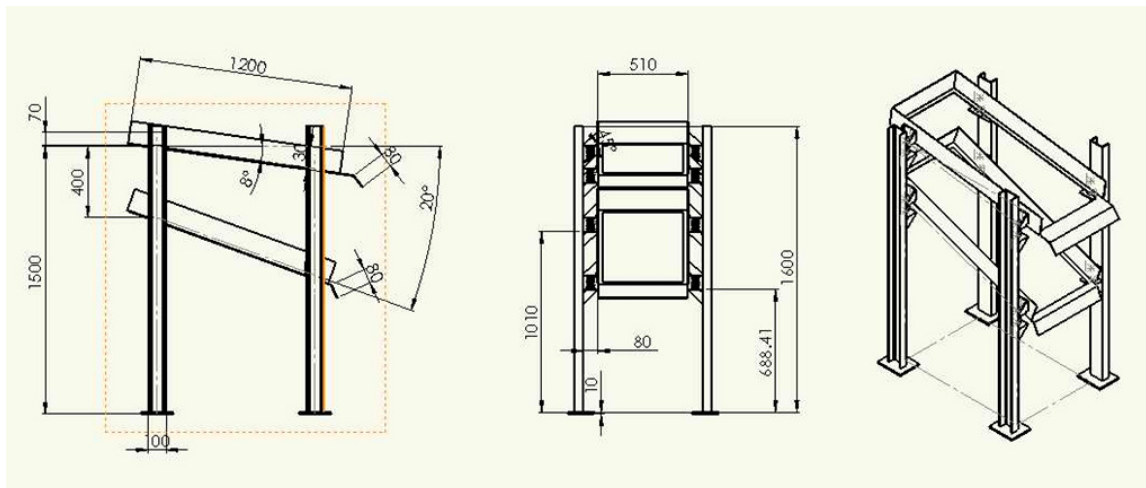


Figura 4.33 – Desenho esquemático da peneira

Na Figura 4.33, observa-se que os tabuleiros possuem uma inclinação que deverá ser, em cada estágio, ajustado para garantir os tempos de permanência que acima se referiram. Se este ângulo for ajustável, o utilizador poderá ajustá-lo de forma dinâmica e em função dos resultados que for obtendo. Deste modo propõe-se que essas regulações permitam variação entre 0° e 10° no primeiro estágio e 10° a 20° no segundo estágio.

4.6.3. Lavagem

A lavagem deverá ser garantida por jatos de água com alta pressão, sendo que o sistema a desenvolver, apenas deverá garantir que a água sob pressão chegue a todas as cápsulas de igual forma.

O sistema utilizado e que garantiu bons resultados, utilizava 100 Bar de pressão, e uma rede de 8 mm de malha.

O sistema de lavagem deverá incluir, ainda, um sistema de recirculação de água, com um filtro incorporado para retirar as partículas de borra de café que venham na água, e assim permita a reutilização da água de lavagem, evitando o desperdício sistemático de água potável.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS

O trabalho realizado, teve como objetivo, o estudo experimental, com vista ao desenvolvimento de um processo industrial de desmembramento e separação dos constituintes das cápsulas de café usadas e/ou não comercializadas.

O estudo desenvolvido procurou encontrar as soluções mais adequadas, comprovadas experimentalmente, para um processo industrial que garanta um desmembramento e separação eficaz dos diferentes materiais constituintes de uma cápsula plástica de café.

Na prossecução deste objetivo geral, desde cedo se enveredou por uma planificação, baseada nas propostas de Ulrich & Eppinger, para o desenvolvimento de novos processos, conforme exposto em seguida.

Fase 0 – Planeamento

Nesta fase constituíram-se as bases do que viria a ser o trabalho agora apresentado. Foi nesta fase que se definiram quais os objetivos específicos a concretizar, delineou-se a estratégia adoptada, e se definiram quais os fatores de sucesso.

Foi na Fase 0 que se optou por uma divisão da linha de produção em três etapas e que se definiram as características que o sistema a desenvolver deveria possuir.

Constatou-se alguma propensão, nesta fase, à definição de objetivos pouco realistas, típico do desenvolvimento de um novo processo, mas que rapidamente foram redesenhados, uma vez que os objetivos definidos para um trabalho de investigação devem ser tanto quanto possível realizáveis, correndo o risco dessa dispersão inviabilizar todo o projeto nas fases subsequentes.

Fase 1 – Desenvolvimento do conceito

Esta fase, tendo sido a que mais recursos consumiu, mostrou-se sem dúvida aquela que maior importância assumiu para o correto desenvolver do trabalho.

No decorrer desta fase foram analisadas as diversas alternativas inicialmente identificadas, através de testes experimentais a cada uma delas. Por fim, foram identificadas as soluções cujas experiências (práticas) revelaram como sendo as mais indicadas para responder aos objetivos propostos.

Do trabalho experimental e da análise dos resultados pode-se concluir que a solução que mais se adequa para realizar o desmembramento e separação das cápsulas de café usadas

e/ou não comercializadas, consiste numa linha de produção constituída por um moinho para destroçamento da cápsulas (adaptação do moinho existente), seguido de peneiração em peneira vibratória inclinada, com dois estágios distintos e finalmente, uma etapa de lavagem com água a alta pressão.

Esta fase, dependendo da ambição dos objetivos, mostrou-se particularmente morosa ou consumidora de recursos, materiais e humanos, destacando-se mais uma vez a necessidade dos objetivos delineados na fase de Planeamento (Fase 0) serem *SMART* (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time Bounded).

Fase 2 – Desenho de sistemas

A Fase 2 mostra-se como uma continuação natural da Fase 1. Nesta fase foi, por fim, esboçada a solução que mais se ajusta à concretização dos objetivos, procedendo-se à definição das especificações gerais de cada etapa, fundamentadas pelos resultados experimentais.

Do trabalho realizado, obtêm-se as especificações para um processo de desmembramento e separação dos constituintes das cápsulas de café, que permite uma recuperação dos resíduos de plástico e de borra de café, sendo que a borra de café obtida apresenta um grau de contaminação de plástico abaixo dos 0,2%.

Os resíduos de plástico resultantes de todo este processo, apesar de se encontrarem praticamente isentos de resíduos de borra não peneirada na fase de separação, continua a ter o filtro de papel, que por ser soldado impossibilita o arranque por força da água no processo de lavagem de alta pressão. No entanto, este facto não deverá ser encarado como impedimento à reciclagem do mesmo, uma vez que este plástico poderá ser encaminhado para indústrias recicladoras de plástico que irão proceder à sua trituração mais fina e depois por métodos mais específicos poderão remover facilmente os restos de filtro que eventualmente permaneçam juntos aos resíduos de plástico.

5.1. TRABALHO FUTURO

Este trabalho termina numa fase crucial do desenvolvimento de processos, isto é, na passagem da fase de Desenho de Sistemas para a fase de Desenho Detalhado.

Na fase de Desenho Detalhado, será importante, em conjunto com os fornecedores, realizar um desenho que, com base nas especificações indicadas neste trabalho (Fase 2), realize os devidos ajustes, para chegar ao desenho final do processo. Esta fase é de particular

importância, pois desta resultará, um processo pronto a ser construído e a funcionar, uma vez que a fase seguinte - Teste e Refinamento - apenas se destina a fazer pequenos ajustes, trabalhando já com o produto acabado.

A fase de início de produção, destina-se à formação dos colaboradores, e ao acompanhamento do arranque em produtivo, sendo possível durante esta fase efetuar pequenos ajustes de forma a adaptar o sistema instalado às necessidades reais de produção.

6. REFERÊNCIAS

- American Productivity & Quality Center. (2003). *Improving New Product Development Performance and Practices*. Houston: APQC.
- American Productivity & Quality Center. (2010). *Improving new product development: Top 10 drivers of performance*. APQC.
- Cooper, R., & J. Edgett, S. (2003). *Improving New Product Development Performance and Practices*. APQC.
- Delta Cafés. (s.d.). *Grupo Nabeiro*. Obtido em 09 de 2011, de <http://www.delta-cafes.pt>
- Dutra, S. (2010). O ano das Cápsulas. *Distribuição Hoje*.
- Generoso, R. A. (2007). *Processos de separação de misturas*. Obtido em 6 de Outubro de 2010, de Ruy Alexandre: <http://ruyalexandre.zzl.org/arquivos/eng9filtros.pdf>
- INE. (2010). *Gestão de resíduos em Portugal 2004-2009*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- Instituto de Biologia Experimental e Tecnológica. (2009). *Estudo prévio sobre o armazenamento de cápsulas utilizadas em máquinas de café expresso Delta Q*. Almada: IBET.
- Instituto de Biologia Experimental e Tecnológica. (2010). *Relatório de 2º Trimestre*. Almada: IBET.
- Manfredini & Schianchi. (s.d.). *Peneiras Vibratórias Circulares*. Obtido em 30 de 10 de 2010, de <http://www.manfredinieschianchi.com/pdf/3-macchine/4-PO/302-03-4PO-peneiras-vibratorias-circulares-ms-mtc.pdf>
- Martinho, M. G., & Gonçalves, M. G. (2000). *Gestão de Resíduos*. Lisboa: Universidade Aberta.
- MultiVibro. (s.d.). *Peneira Vibratória Horizontal*. Obtido em 01 de 11 de 2010, de MultiVibro: <http://www.multivibro.com.br/imagens/PENEIRA%20VIBRATÓRIA%20HORIZONTAL%20MOD.%20PHM%20-%201D.pdf>
- MultiVibro. (s.d.). *Peneira Vibratória Inclinada*. Obtido em 01 de 11 de 2010, de MultiVibro: <http://www.multivibro.com.br/imagens/PENEIRA%20VIBRATÓRIA%20INCLINADA%20MOD.%20PIM.pdf>

MultiVibro. (s.d.). *Peneira Vibratória Redonda*. Obtido em 1 de 11 de 2010, de MultiVibro: <http://www.multivibro.com.br/imagens/PENEIRA%20VIBRATÓRIA%20REDONDA%20MOD.%20PRM.pdf>

Rotopen. (s.d.). *Peneiras vibratórias*. Obtido em 30 de 10 de 2010, de <http://www.mavi.com.br/php/download/rotopen.pdf>

Sociedade Ponto Verde. (2006). *Maioria adere à Separação*.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste Management*. California: McGraw-Hill Book Co.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2008). *Product Design and Development* (4th edition ed.). New York: Mc Graw-Hill.

Von Braun, C. F. (1997). *The Innovation War*. NJ: Prentice Hall.

Ward, A. (2007). *Lean product and process development*. USA: Lean Enterprises Inst Inc.

7. ANEXOS

Anexo 1 – Protocolo Experimental para a peneiração das borras de café

Anexo 2 – Folhas de registo dos procedimentos experimentais do tipo i e do tipo ii.

Anexo 1 – Protocolo Experimental para a peneiração das borras de café

Protocolo experimental para a peneiração das borras de café

1. OPERAÇÕES PRÉVIAS

- a. Este estudo pressupõe a existência de uma recolha de cápsulas de café em condições reais, ou seja, o consumidor deposita as suas cápsulas utilizadas nos pontos de recolha definidos, onde estas permanecerão o tempo necessário até serem recolhidas e transportadas para as instalações da Delta Cafés, em Campo Maior, onde ficarão armazenadas até serem processadas;
- b. As cápsulas não deverão permanecer em espera expostas diretamente às condições atmosféricas - chuva ou sol - pois estes atuarão de forma a humedecer ou secar as cápsulas, enviesando posteriores resultados experimentais;
- c. Ainda nas instalações da Delta Cafés, as cápsulas serão sujeitas a moagem, viabilizando o processo de peneiração, objeto deste protocolo.

2. PREPARAÇÃO DOS LOTES EXPERIMENTAIS

- a. A preparação dos lotes sujeitos à experimentação, é realizada de forma a dividir por sacos designados por Teste #, em que cada um deverá conter, sensivelmente, 2 kg a 2,5 kg de cápsulas trituradas;
- b. A quantidade de humidade presente em cada um dos lotes de amostragem, é um fator que se revela de difícil controlo durante este estudo, uma vez que depende de vários fatores (acondicionamento, tempo de espera para moagem, etc.). Portanto, e uma vez que o sistema deverá funcionar em contínuo, deverá ser garantido é que, após a moagem, a amostra não deverá ser exposta às condições atmosféricas.

3. PENEIRAÇÃO DAS CÁPSULAS MOÍDAS

- a. Para a realização deste estudo serão utilizados 2 (dois) tipos de malha:
 - - Malha grande (MG) – Passo: 4mm; Arame: 2mm;
 - - Malha pequena (MP) – Passo: 3mm; Arame: 1,60 mm.
- b. São estudados 2 tipos de peneiração por vibração:

- i. Utilização direta de malha pequena;
- ii. Utilização de malha grande (1º Estágio) seguido de peneiração com malha pequena (2º Estágio).

4. ESTUDO E REGISTO DOS RESULTADOS

Testes do tipo i:

- a. Pesagem da massa inicial (m_i) do lote experimental;
- b. Peneiração das borras com MP, registrando o tempo utilizado (t_c);
- c. Pesagem da massa das cápsulas após peneiração (m_{ac});
- d. Separação manual do plástico residual e sua quantificação em 100 g da borra após peneiração ($m_{p\%}$).

Testes do tipo ii:

- a. Pesagem da massa inicial (m_i) do lote experimental;
- b. Peneiração das borras com MG, registrando o tempo utilizado (t_{1c});
- c. Pesagem da massa das cápsulas após peneiração (m_{ac});
- d. Separação manual do plástico residual e sua quantificação em 100 g da borra obtida em b após peneiração ($m_{1p\%}$);
- e. Peneiração das borras obtidas em b com MP, registrando o tempo utilizado (t_{2c});
- f. Separação manual do plástico residual e sua quantificação em 100 g da borra obtida em e ($m_{2p\%}$).

Anexo 2 – Folhas de registo dos procedimentos experimentais do tipo i e do tipo ii

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 1**

Tipo i

Massa Inicial (m_i)	2368 g
Tempo de peneira (t_c)	40 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1096 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{p\%}$)	0,23%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1272 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

TESTE 2

Tipo i

Massa Inicial (m_i)	2118 g
Tempo de peneira (t_c)	42 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1012 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{p\%}$)	0,32%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1106 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 3**

Tipo i

Massa Inicial (m_i)	1946 g
Tempo de peneira (t_c)	37 seg
Massa após peneira (m_{ac})	842 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{p\%}$)	0,21%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1104 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 4**

Tipo i

Massa Inicial (m_i)	1899 g
Tempo de peneira (t_c)	30 seg
Massa após peneira (m_{ac})	913 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{p\%}$)	0,15%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	986 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 5**

Tipo ii

Massa Inicial (m_i)	1992 g
Tempo de peneira (t_{1c})	30 seg
Massa após peneira (m_{ac})	998 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{1p\%}$)	0,77%
Tempo de peneira (t_{2c})	20 seg
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{2p\%}$)	0,23%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	994 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 6**

Tipo ii

Massa Inicial (m_i)	2070 g
Tempo de peneira (t_{1c})	35 seg
Massa após peneira (m_{ac})	933 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{1p\%}$)	0,78%
Tempo de peneira (t_{2c})	15 seg
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{2p\%}$)	0,18%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1137 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 7**

Tipo ii

Massa Inicial (m_i)	2620 g
Tempo de peneira (t_{1c})	45 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1178 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{1p\%}$)	0,83%
Tempo de peneira (t_{2c})	20 seg
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{2p\%}$)	0,21%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1442 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 8**

Tipo ii

Massa Inicial (m_i)	2240 g
Tempo de peneira (t_{1c})	30 seg
Massa após peneira (m_{ac})	967 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{1p\%}$)	0,56%
Tempo de peneira (t_{2c})	20 seg
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{2p\%}$)	0,10%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1273 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 9**

Tipo i

Massa Inicial (m_i)	2420 g
Tempo de peneira (t_c)	55 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1206 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{p\%}$)	0,50%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1214 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

TESTE 10

Tipo i

Massa Inicial (m_i)	1923 g
Tempo de peneira (t_c)	30 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1022 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{p\%}$)	0,09%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	901 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 11**

Tipo i

Massa Inicial (m_i)	2251 g
Tempo de peneira (t_c)	44 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1015 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{p\%}$)	0,11%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1236 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 12**

Tipo i

Massa Inicial (m_i)	2279 g
Tempo de peneira (t_c)	35 seg
Massa após peneira (m_{ac})	892 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{p\%}$)	0,23%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1387 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 13**

Tipo ii

Massa Inicial (m_i)	2150 g
Tempo de peneira (t_{1c})	40 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1121 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{1p\%}$)	0,47%
Tempo de peneira (t_{2c})	15 seg
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{2p\%}$)	0,12%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1256 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 14**

Tipo ii

Massa Inicial (m_i)	2245 g
Tempo de peneira (t_{1c})	45 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1037 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{1p\%}$)	0,53%
Tempo de peneira (t_{2c})	20 seg
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{2p\%}$)	0,15%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1208 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 15**

Tipo ii

Massa Inicial (m_i)	2532 g
Tempo de peneira (t_{1c})	35 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1231 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{1p\%}$)	0,45%
Tempo de peneira (t_{2c})	15 seg
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{2p\%}$)	0,23%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1301 g

FOLHA DE REGISTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**TESTE 16**

Tipo ii

Massa Inicial (m_i)	2336 g
Tempo de peneira (t_{1c})	45 seg
Massa após peneira (m_{ac})	1246 g
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{1p\%}$)	0,37%
Tempo de peneira (t_{2c})	15 seg
% Plástico contido na borra peneirada ($m_{2p\%}$)	0,13%
Borra peneirada (BC) ($m_i - m_{ac}$)	1090 g